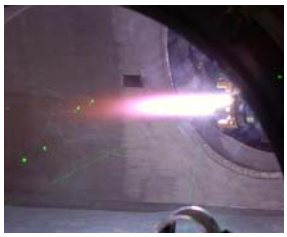
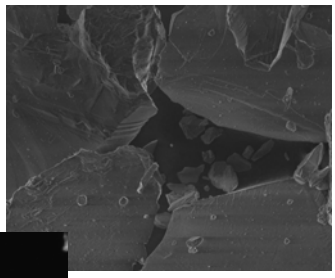
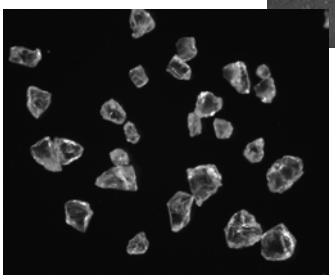
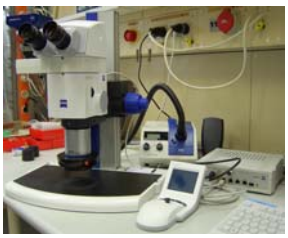
Aufbau und Erstellung eines Prüfstandes zur Voruntersuchung von Plasmapulverpartikeln

der Bundeswehr
Universität München

Diplomarbeit

Patrick Wappler

Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik

Institut für Grundgebiete der Elektrotechnik
Prof. Dr.-Ing. Klaus Landes

Betreuer: Dipl.-Ing. Stephan Zimmermann

März 2006

Erklärung:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt habe.

Sämtliche benutzten Quellen und Hilfsmittel sind angegeben, wörtliche und sinngemäße Zitate sind als solche gekennzeichnet.

Neubiberg, März 2006

Patrick Wappler

Widmung

Ich widme die vorliegende Diplomarbeit meiner gesamten Familie, die mir während meiner Studienzeit immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

Mein Dank gilt außerdem allen Mitarbeitern und Angehörigen des Institut „Grundlagen der Elektrotechnik“ für die mir entgegengebrachte Unterstützung und die schöne Zeit im Labor und in der Werkstatt.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	7
2.	Vorstellung der Spritzpulver, Aufnahmegeräte und Analyseprogramme	9
2.1.	Das Spritzpulver	9
2.1.1.	Vorstellung der verwendeten Pulver	9
2.1.2.	Herstellung und Größenverteilung	10
2.2.	Betrachtungs- und Aufnahmegeräte	13
2.2.1.	Diascanner	13
2.2.2.	Stereomikroskop	14
2.2.3.	Rasterelektronenmikroskop	18
2.2.4.	Andere Bildquellen	21
2.3.	Programme zur Analyse	22
2.3.1.	Carl Zeiss - Axio Vision	22
2.3.2.	Partikelanalyse I	24
2.3.3.	Partikelanalyse II	30
3.	Bedienungsablauf einer Partikelanalyse mit Discovery.V12 und Axio Vision	35
3.1.	Präparieren der Pulverproben	35
3.2.	Aufnahme eines Probenbildes	38
3.3.	Analyse der digitalen Bilder	44
4.	Archivierung und Darstellung der Ergebnisse	64
4.1.	Arbeiten mit Microsoft Access	64
4.1.1.	Erstellen einer Access-Datenbank	64
4.1.2.	Freigabe einer Access-Datenbank unter Windows	70

4.2.	Der Archivierungsassistent	72
4.2.1.	Arbeiten mit dem Archivierungsassistenten	72
4.2.2.	Funktionsprinzipien	78
5.	Auswertung	83
5.1.	Betrachtung der Aufnahmegeräte	83
5.1.1.	Diascanner	83
5.1.2.	Stereomikroskop	85
5.1.3.	Rasterelektronenmikroskop	87
5.1.4.	Eignung zur Partikelanalyse	88
5.2.	Vergleich der Analyseprogramme	90
5.3.	Analyseergebnisse der Pulver und Vergleich mit den Herstellerangaben	93
5.3.1.	Pulver 1 - ZrO_2-Y_2O_3 - 45 + 22,5 µm	93
5.3.2.	Pulver 2 - Al_2O_3 - 20 + 5µm	95
5.3.3.	Pulver 3 - Al_2O_3 - 45 + 5,6 µm	96
5.3.4.	Pulver 4 - Al_2O_3 - 90 + 45 µm	98
5.3.5.	Pulver 5 - Al_2O_3 < 250 µm	101
5.3.6.	Pulver 6 - Al_2O_3 < 150 µm	102
5.4.	Eignung der Auswerteprogramme zur Partikelanalyse	103
5.5.	Oberflächenbetrachtung der Partikel mit Hilfe von REM-Aufnahmen	104
6.	Schlussbetrachtung und Ausblick	112

7.	Anhang	114
7.1.	Histogrammverteilungen der analysierten Pulver	114
7.1.1.	Pulver 1 - ZrO_2-Y_2O_3 - 45 + 22,5 µm	115
7.1.2.	Pulver 2 - Al_2O_3 - 20 + 5µm	118
7.1.3.	Pulver 3 - Al_2O_3 - 45 + 5,6 µm	122
7.1.4.	Pulver 4 - Al_2O_3 - 90 + 45 µm	126
7.1.5.	Pulver 5 - Al_2O_3 < 250 µm	129
7.1.6.	Pulver 6 - Al_2O_3 < 150 µm	132
7.2.	Quelltext: Archivierungsassistent (Delphi)	135
7.3.	Struktur der Ausgabedateien der Analyseprogramme	163
7.3.1.	Ausgabedatei Axio Vision	163
7.3.2.	Ausgabedatei Partikelanalyse I	164
7.3.3.	Ausgabedatei Partikelanalyse II	165
7.4.	Datenblätter der Spritzpulver	166
7.4.1.	Datenblatt der Al_2O_3 – Pulver	166
7.4.2.	Datenblatt des ZrO_2 – Y_2O_3 – Pulver	168
7.5.	Datenblätter, Bedienungsanleitungen und Support der Analysegeräte und Axio Vision	170
7.5.1.	Diascanner CanoScan FS4000US	170
7.5.2.	Stereomikroskop Zeiss Discovery.V12 und AxioCam MRc5	171
7.5.3.	Rasterelektronenmikroskop JEOL JSM-6700F	174
7.5.4.	Auswertungssoftware Zeiss AxioVision	174
7.6.	Inhaltsverzeichnis der CD zur Diplomarbeit	175
7.7.	Literatur- und Quellenverzeichnis	176
7.8.	Das Team	178

1. Einleitung

Wissenschaft und Technik stehen in einem ständigen Entwicklungsprozess.
Der Weg führt dabei zu immer anspruchsvolleren Technologien.
Dieser ständige Fortschritt bewirkt, dass in vielen Anwendungsgebieten der Industrie verschiedene Bauteile immer größeren mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt werden.
So wird die Lambda-Sonde eines handelsüblichen Katalysators im Fahrbetrieb einer hohen thermischen Belastung durch Temperaturen von über 800 °C ausgesetzt.
Auch auf ein in der Industrie eingesetztes Schneidemesser wirken bei jedem Trennvorgang große mechanische Kräfte.
Um die Funktionsfähigkeit der Bauteile im täglichen Betrieb sicher zu stellen sowie deren Verschleiß zu vermindern, ist es notwendig, eine widerstandsfähige äußere Schicht aufzubringen.
Keramiken sind als Material für diese äußere Schicht besonders geeignet. Eine Keramik, wie z.B. Aluminiumoxid (Al_2O_3), hat eine hohe mechanische Widerstandsfähigkeit und ist aufgrund ihrer hohen Schmelztemperatur von etwa 1800 K außerdem sehr hitzebeständig. Die keramische Beschichtung der metallischen Bauteile ist jedoch mit herkömmlichen Methoden, wie z.B. einem Tauchbad, aufgrund der unterschiedlichen Schmelztemperaturen nicht möglich.
Es müssen neue Fertigungsverfahren entwickelt werden, mit denen es möglich ist, qualitativ hochwertige Keramik-Beschichtungen zu erzeugen.

Das Institut für Grundgebiete der Elektrotechnik der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität der Bundeswehr München beschäftigt sich im Rahmen der Forschungsarbeiten mit einem Verfahren zur thermischen Beschichtung von Oberflächen.
Bei diesem Verfahren werden die keramischen Spritzgutpartikel in den Strahl eines Plasmabrenners eingesprüht und dort bei Temperaturen zwichen 4000 bis 20000 K aufgeschmolzen. Die beschleunigten Partikel treffen dann auf die zu beschichtende Oberfläche und erkalten dort.

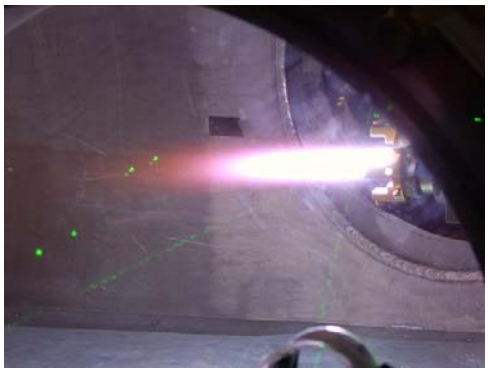


Abb. 1.1: Plasmabrenner Typ F4

Einen Schwerpunkt der Verfahrensentwicklung stellt die Untersuchung der Partikelparameter, zum Beispiel deren Geschwindigkeit, Größe, Form und Schmelzzustand, dar.
Nach dem Aufschmelzen muss das Partikel zur Untersuchung der Parameter beobachtet werden können. Das Institut setzt hierzu das PSI 2 (Particle-Shape-Imaging)-Verfahren ein. Bei dieser Schattenbild-Methode bildet der Überlagerungsbereich zweier Teilstrahlen eines Lasers das Messvolumen. Das aufgeschmolzene Partikel erzeugt im Messvolumen eine Schattenkontur. Diese entspricht der Form des Teilchens und wird mit Hilfe einer MCP-CCD-Kamera als digitales Bild gespeichert [weitere Informationen siehe Q 1].
Die Bestimmung der Partikelparameter aus den digitalisierten Bildern wird von einem Computerprogramm automatisiert [weitere Informationen zum Detektionsvorgang in Q 3].
Die Bestimmung der Partikelparameter nach dem Aufschmelzen ist Gegenstand der Diplomarbeit von S. Micklich und M. Weber [Q 5].

Zur Analyse des Spritzverfahrens ist es notwendig auch die Parameter der Partikel vor dem Schmelzvorgang zu kennen.
Um Rückschlüsse auf die Güte des Schmelzvorganges gewinnen zu können, müssen die Parameter der Partikel vor und nach dem Schmelzvorgang miteinander verglichen werden.

Meine Aufgabe besteht aus zwei Teilen.
Im praktischen Teil sollen Pulverproben, deren Größenangaben vom Hersteller angegeben wurden, mit verschiedenen Geräten und Methoden analysiert werden. Zur Analyse stehen mir drei Auswerteprogramme zur Verfügung. Ziel ist es, die verschiedenen Auswertungsmethoden in Verbindung mit der Software auf ihre Eignung zu prüfen. Dabei sollen vor allem Vor- und Nachteile sowie Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Systeme gegenübergestellt werden.
Im theoretischen Teil meiner Arbeit soll ein Programm zur Archivierung der Analysedaten geschrieben werden.

Die Software soll die Ausgabedateien der verschiedenen Analyseprogramme verarbeiten und sie in einer Datenbank speichern.

Im Folgenden sollen zunächst Spritzpulver, Betrachtungsgeräte und Auswerteprogramme vorgestellt werden.

2. Vorstellung der Spritzpulver, Aufnahmegeräte und Analyseprogramme

Zur Analyse der Pulver stehen drei Geräte zur Verfügung: ein Diascanner, ein Stereomikroskop sowie ein Rasterelektronenmikroskop.
Alle Geräte ermöglichen es, ein digitales Bild vom betrachteten Pulver zu erstellen. Diese Bilder werden dann von den drei Auswerteprogrammen getrennt analysiert. Die Ergebnisse werden gespeichert und liegen zur Auswertung vor.

2.1. Das Spritzpulver

2.1.1. Vorstellung der verwendeten Pulver

Die Untersuchungen und Auswertungen in meiner Arbeit werden an sechs in der Industrie gebräuchlichen, keramischen Spritzpulvern durchgeführt.

Pulvernummer	Material	Größenangabe (lt. Hersteller)
1	$ZrO_2 – Y_2O_3$	- 45 + 22,5 µm
2	Al_2O_3	- 20 + 5 µm
3	Al_2O_3	- 45 + 5,6 µm
4	Al_2O_3	- 90 + 45 µm
5	Al_2O_3	< 250 µm
6	Al_2O_3	< 150 µm

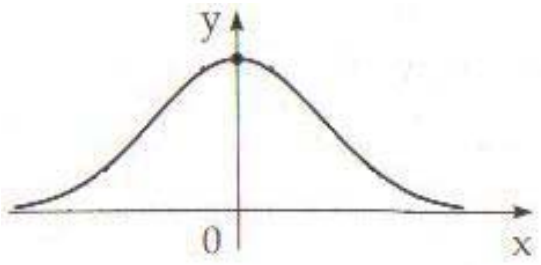
Alle sechs Pulver sind Produkte der Firma H.C. Starck [Q 10] aus der Produktionsreihe AMPERIT-Spritzpulver, sie können jederzeit über die jeweilige Artikelnummer (siehe Anhang Kap. 7.4) bezogen werden.

Bei Pulver 1 handelt es sich um Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid (Zirkonyttriumoxid). Die Stabilisierung mit Yttrium wirkt dem störenden Volumensprung bei der Umwandlung des monoklinen Zirkonoxid-Gefüges in eine tetragonale Struktur entgegen.
Die Keramik Zirkonoxid weißt neben hoher Verschleißfähigkeit auch eine enorme Biegebruch- und Zugfestigkeit auf.
Die Pulver 2 bis 6 bestehen aus Aluminiumoxid und unterscheiden sich in den Größenangaben des Herstellers.
Aluminiumoxid ist der technisch wichtigste oxidkeramische Werkstoff.
Er zeichnet sich besonders durch hohen Härtegrad sowie Verschleißfestigkeit, Temperaturstabilität und Korrosionsbeständigkeit aus.

2.1.2. Herstellung und Größenverteilung

Das sehr grobe Rohpulver wird durch mehrere Mahlvorgänge in Trommel-, Schwing- und Attritormühlen zunächst aufgebrochen und zerkleinert.
Das so entstandene Feinpulver durchläuft verschiedene Siebe und wird in verschiedene Größenklassen aufgeteilt.

Grundsätzlich folgt die Größenverteilung jedes Pulvers dem Normalverteilungsgesetz, welches durch die Gaußsche Glockenkurve beschrieben wird.



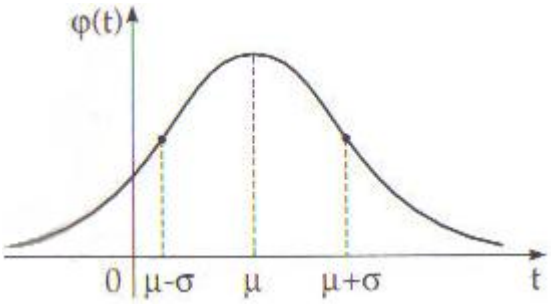


Abb. 2.1a Abb. 2.1b

Abb. 2.1: Gausssche Glockenkurve

Die allgemeine mathematische Funktion der Glockenkurve [Abb. 2.1a] lautet

$$y = e^{-(ax)^2} \qquad [2.1.2.1]$$

Wendet man das Gesetz der Normalverteilung an, so ergibt sich für die Verteilungsfunktion [Abb. 2.1b]

$$P(X \le x) = F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \qquad [2.1.2.2]$$

mit: X = zufallsveränderlicher Wert
σ = Standardabweichung
μ = Erwartungswert

Zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert X zwischen den Grenzen a und b liegt [$P(a \le X \le b)$] wird die normierte Normalverteilung verwendet.

Als numerische Lösung der Verteilungsfunktion ergibt sich so:

$$P(a \le X \le b) = \Phi\left(\frac{b-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \qquad [2.1.2.3]$$

Die Verteilungsfunktion der normierten Normalverteilung lautet:

$$P(X \le x) = \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \int_{-\infty}^{x} \varphi(t) dt \qquad [2.1.2.4]$$

Es gilt außerdem:

$$\Phi(-X) = 1 - \Phi(X) \qquad [2.1.2.5]$$

Die Ergebnisse $\Phi(x)$ der normierten Normalverteilung können aber auch einer entsprechenden Tabelle entnommen werden. Diese ist, sowie die Herleitungen (S. 73 u. 778 f), z.B. in Quelle 2 (S. 1118 f) zu finden.

Im Folgenden soll die Berechnung der Verteilung exemplarisch am Beispiel eines Pulvers dargestellt werden.

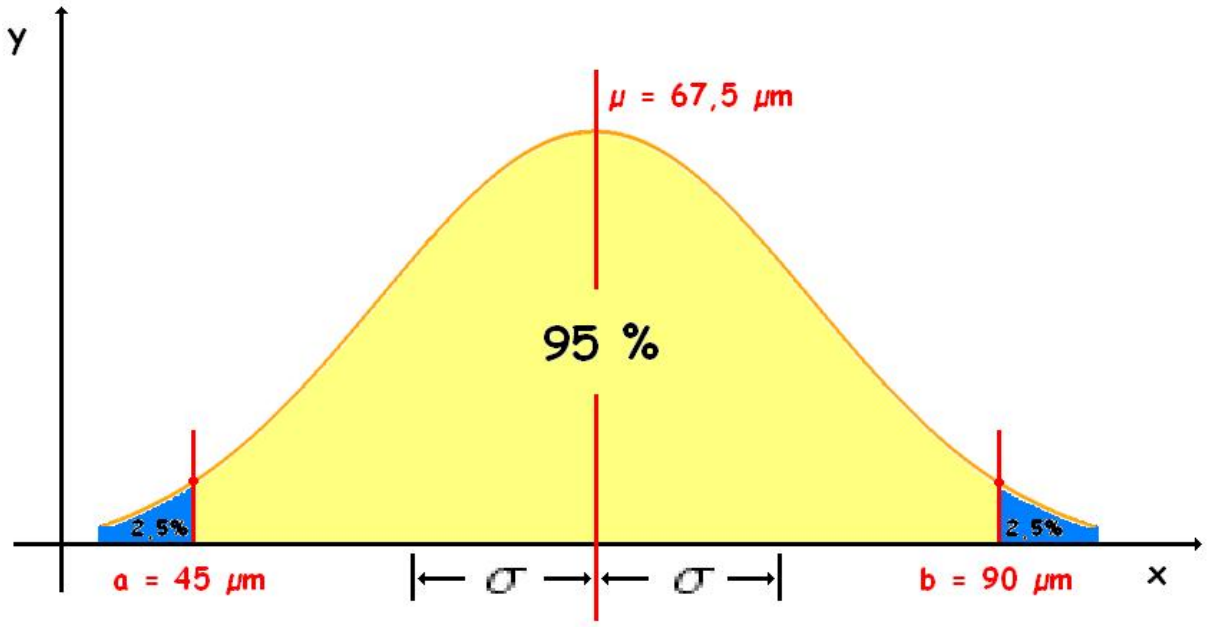


Abb. 2.2: Normalverteilung der Partikelgröße von Pulver 4

Der Hersteller gibt den Größenbereich der in Pulver 4 enthaltenen Partikel mit 90 + 45 µm an.
Diese Angabe bedeutet, dass 95% der Partikel in einem Größenbereich zwischen 45 und 90 µm verteilt liegen. Der Erwartungswert μ ergibt sich somit zu 67,5 µm, die Standardabweichung σ beträgt 11,8 µm.
Die übrigen 5% der Partikel stellen den beim Brechen und Sieben entstandenen Feinanteil (blau - im linken Bereich der Glockenkurve), sowie einzelne größere Partikel (blau - im rechten Bereich der Glockenkurve) dar.

Dies kann durch folgende Rechnung geprüft und nachvollzogen werden:
Durch Einsetzen der Werte in Gleichung 2.1.2.3 ergibt sich

$$P(a \le X \le b) = P(45\mu m \le X \le 90\mu m) = \Phi\left(\frac{90\mu m - 67,5\mu m}{11,8\mu m}\right) - \Phi\left(\frac{45\mu m - 67,5\mu m}{11,8\mu m}\right) = \Phi(1,906) - \Phi(-1,906)$$

aus der Tabelle der normierten Normalverteilung und mit Gleichung 2.1.2.5 erhält man

$$P(45\mu m \le X \le 90\mu m) = 0.9713 - (1 - 0,9713) = 0,9426 \approx 0,95 \hat{=} 95\%$$

Die Rechnung bestätigt, dass 95% der Partikel laut Hersteller im angegebenen Bereich liegen müssten.
In Kapitel 5.3 werden diese Werte mit den Ergebnissen der Analyse verglichen.

Für die Anwendung des Pulvers wäre es ideal, wenn es nur aus Partikeln einer bestimmten Größe bestehen würde, d.h. die Breite der Gauß-Glocke möglichst infinitesimal wird. Diese Vorstellung kann aber aus leicht nachvollziehbaren technischen Gründen nicht in die Realität umgesetzt werden. Dennoch gibt es Pulver bei denen durch eine hohe Anzahl von Siebvorgängen eine minimale Breite der Gauß-Glocke erreicht wird. Dabei gilt: Je geringer das Größenspektrum eines Pulvers, desto höher der Herstellungsaufwand und der Preis.

2.2. Betrachtungs- und Aufnahmegeräte

2.2.1. Diascanner

Der CanoScan FS4000US ist ein Diascanner der Firma Canon.
Durch seine Kaltkathoden-Floureszenslampe weist er ein besonders reines und stabiles Farbspektrum auf. Der Scanner erkennt und reduziert selbstständig kleinere Fehler, wie z.B. Kratzer oder Staub.
Der Hersteller gibt eine Auflösung von 4000dpi sowie eine Farbtiefe von 42-Bit an. Diese Daten wurden in der Studienarbeit von J. Wagner [Q 4] geprüft, auch für eine detaillierte Bedienungsanleitung sei auf diese Arbeit verwiesen. Die mitgelieferte Software Canon FilmGet bindet den Scanner über USB-Port an den PC an und ermöglicht Anzeige und Speichern der digitalen Bilder.

Abb. 2.3: Canon CanoScan FS 4000 US

2.2.2. Stereomikroskop

Bei dem genutzten Stereomikroskop handelt es sich um das Modell Discovery V12 der Firma Zeiss.
Das Mikroskop wurde erst kürzlich vom Institut angeschafft und ist ein wichtiger Bestandteil meiner Diplomarbeit.

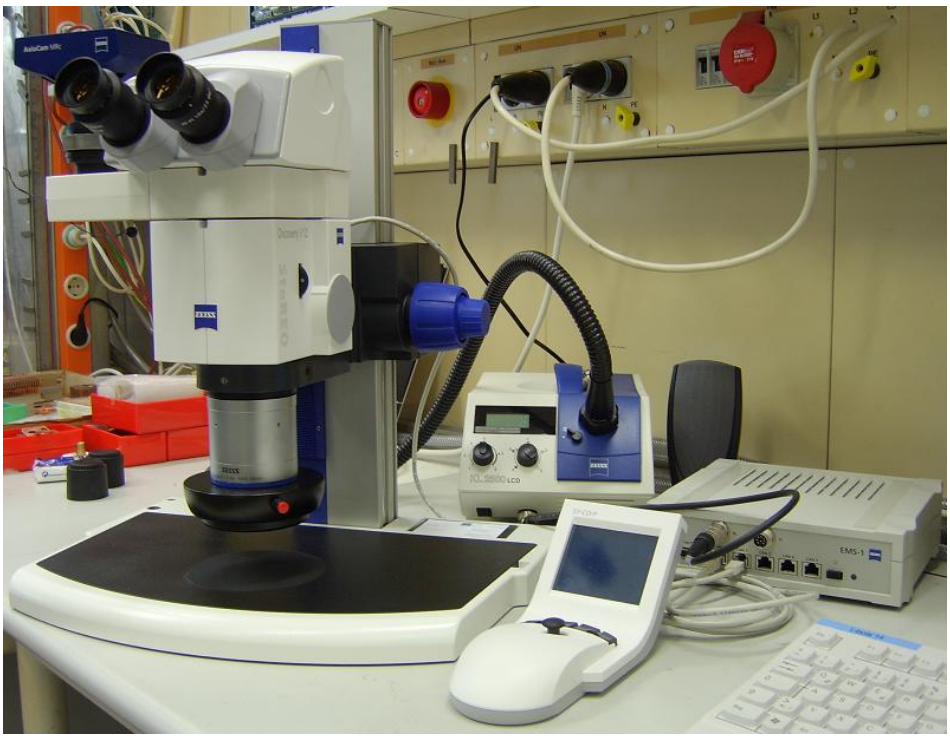


Abb. 2.4: Zeiss Stereomikroskop Discovery V12 mit AxioCam, Steuerpanel und Lichtquelle

Mit einem Stereomikroskop wird eine dreidimensionale Sicht auf das Pulver ermöglicht. Durch den scharfen Kontrast und die Tiefenschärfe sind mit Hilfe der AxioCam MRc5 hochwertige Aufnahmen möglich.
Die digitalen Bilder werden von der Kamera über eine Steckkarte direkt zum PC weitergegeben.

Das Mikroskop besteht aus fünf Komponenten:

Mikroskopkörper mit Grundplatte und Haltesäule

Der Mikroskopkörper nimmt Okulare, Blenden und Objektiv auf. Er ist an der Haltesäule befestigt und kann manuell mit der Fokussiereinrichtung in der Höhe verstellt werden.
Die Grundplatte bietet Auflagefläche für den Objektträger.

Abb. 2.5: Mikroskopkörper mit Grundplatte und Haltesäule

Systemsteuereinheit

Mit Hilfe der Steuereinheit können mittels Tasten, Joystick sowie dem Touchscreen die Lichtintensität, Vergrößerung und Grundeinstellungen geändert werden.
Im Touchscreen werden die aktuellen Mikroskopeinstellungen sowie die Lichtintensität angezeigt.
Bei der Anzeige der Schärfentiefe (Depth) tritt ein Softwarefehler auf.
Dieser Wert wird immer eine Zehnerpotenz zu hoch angezeigt, das Komma muss also um eine Stelle nach links verschoben werden.

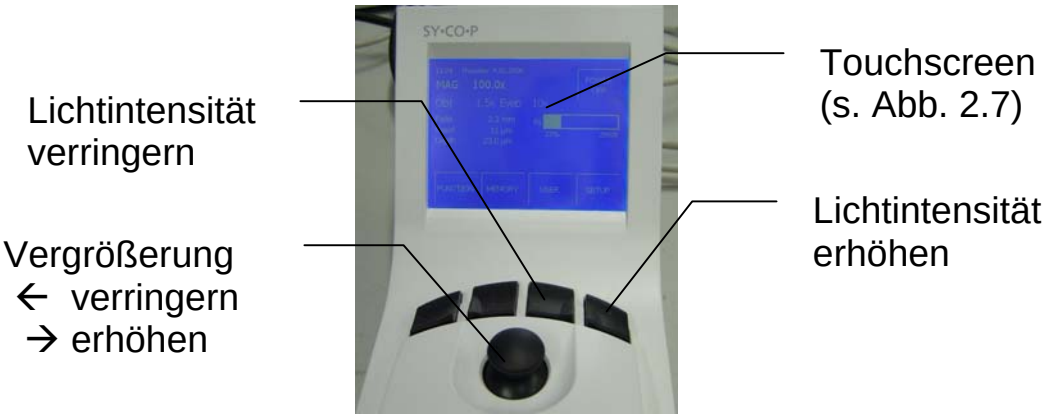


Abb. 2.6: Systemsteuereinheit SYCOP

Abb. 2.7: Touchscreen SYCOP Anzeigenbereich

Kaltlichtquelle

Die Kaltlichtquelle KL 2500 LCD erzeugt Licht der Farbtemperatur 2550 bis 3300K. Die gewünschte Farbtemperatur kann entweder manuell am Gerät oder ferngesteuert über die Systemsteuereinheit eingestellt werden. Das Licht wird im Gerät erzeugt und von dort durch einen flexiblen Lichtleiter an die am Objektiv befestigte Ringspaltleuchte geleitet. Die Leuchte bestrahlt den Objektraum mit Auflicht.

Abb. 2.8: Kaltlichtquelle KL 2500 LCD

Elektronikmodul EMS-1

Dieses Modul stellt die Verbindung zwischen den einzelnen elektronischen Komponenten her. Es verbindet die Steuereinheit mit der Lichtquelle und der elektrischen Auflösungssteuerung.

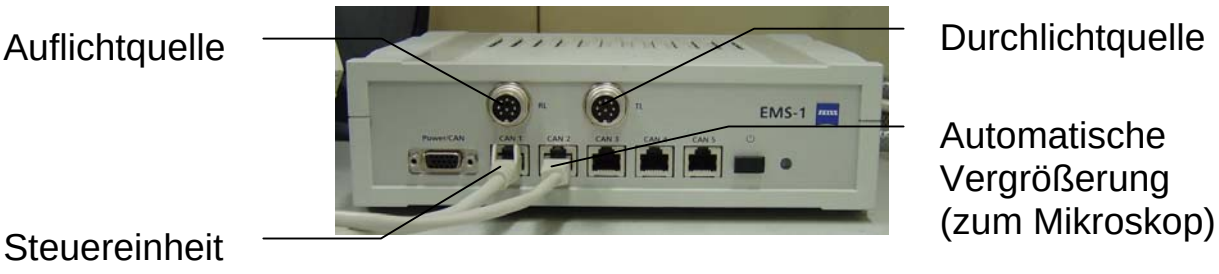


Abb. 2.9: Steuereinheit EMS-1

AxioCam MRc

Die digitale Kamera wird vom Mikroskopkörper getragen.
Über einen Schieberegler kann sie durch den linken Optikgang Aufnahmen vom Objekt machen.
Die Auflösung der Kamera liegt etwa bei 1.3 Megapixel, sie ist durch eine Steckkarte direkt mit dem PC verbunden.
Eine Kontrollleuchte zeigt den Status der Kamera an.

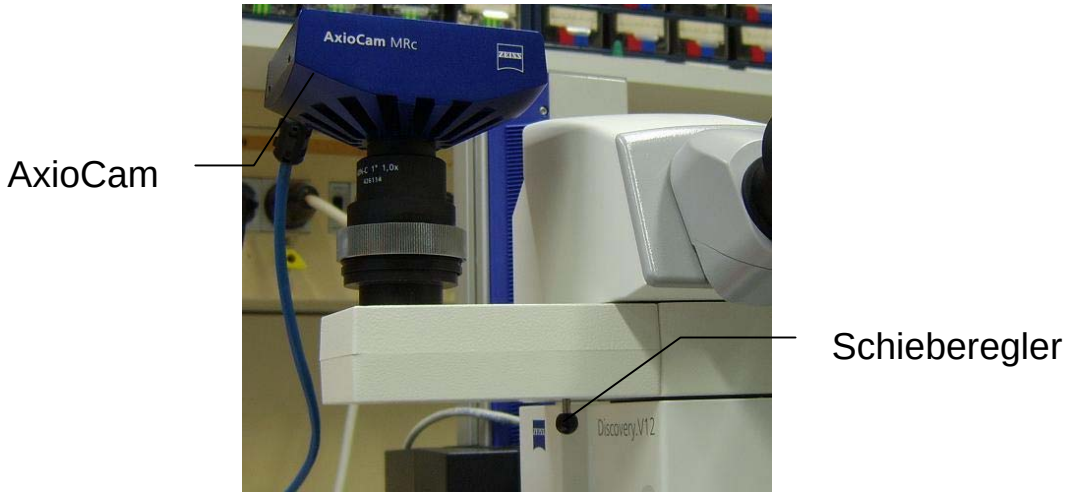


Abb. 2.10: AxioCam MRc mit Schieberegler

Die Software AxioVision, die von Zeiss entwickelt wurde, ermöglicht eine perfekte Anbindung des Stereomikroskops.
Das Mikroskop bietet sehr viel Platz im Objektraum und ermöglicht eine optimale Platzierung des Objektträgers.
Das Objektiv bietet maximal eine 150fache Vergrößerung, welche für die Pulveranalyse völlig ausreichend ist.
Ein kompletter Bedienungsablauf wird in Kapitel 3 beschrieben.

2.2.3. Rasterelektronenmikroskop

Das für die Aufnahmen verwendete Mikroskop JSM-6700F, hergestellt von der japanischen Firma JEOL, wurde mir vom Institut EIT9 der Universität zur Verfügung gestellt.
Das Rasterelektronenmikroskop (REM) besitzt eine weitaus bessere Tiefenschärfe als das Lichtmikroskop, was gerade bei der Betrachtung von Oberflächen von Vorteil ist. Außerdem ist es den lichtoptischen Mikroskopen im maximal möglichen Auflösungsbereich weit überlegen.
Während der maximale Auflösungsbereich von Lichtmikroskopen bei 2000:1 liegt, können mit dem REM theoretische Vergrößerungen von bis zu 500000:1 erzielt werden.

Abb. 2.11: Rasterelektonenmikroskop JEOL JSM-6700 F

Um die Pulverproben mit dem REM analysieren zu können, muss zunächst eine Präparation durchgeführt werden.
Das Pulver wird dazu wie in Abbildung 2.12 dargestellt auf ein Klebeplättchen, welches vorher auf dem Objektträger befestigt wurde, aufgebracht.
Dabei ist darauf zu achten, möglichst sauber und staubfrei zu arbeiten, um Verunreinigungen, wie z.B. Fingerabdrücke, zu vermeiden.

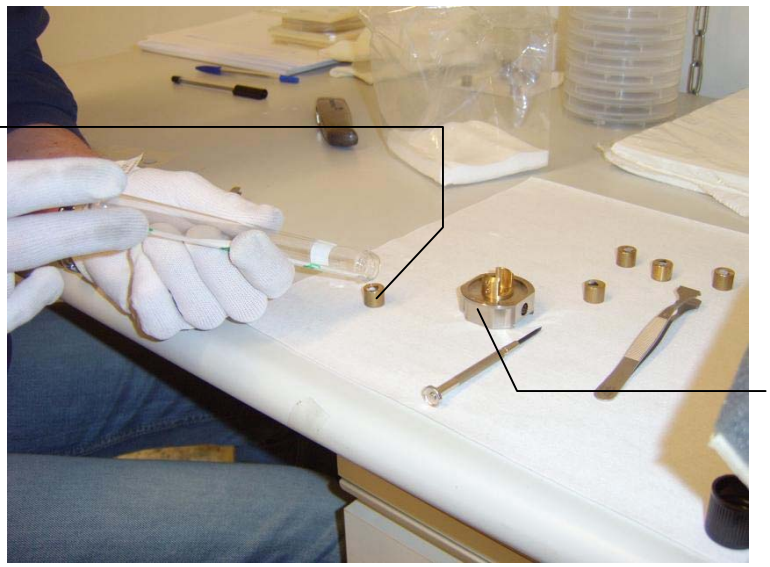


Abb. 2.12: Präparation einer Pulverprobe

Nachdem der Objektträger mit der Fixierschraube auf dem Probenhalter arretiert wurde, kann die Probe in die Austauschkammer [Abb. 2.13] gespannt werden.

Abb. 2.13: Austauschkammer

Sobald die Kammer geschlossen wurde, wird in ihr durch eine starke Pumpe ein Vakuum erzeugt.
Ist der Druck in der Kammer auf den vom Computer vorgegebenen Wert abgesunken, kann die Schleuse zur Hauptkammer des REM geöffnet und die Probe eingeschoben werden. Die Austauschkammer verringert den Aufwand und die Vorbereitungs-zeit, da nicht bei jeder Probe das Hochvakuum in der Hauptkammer neu erzeugt werden muss.

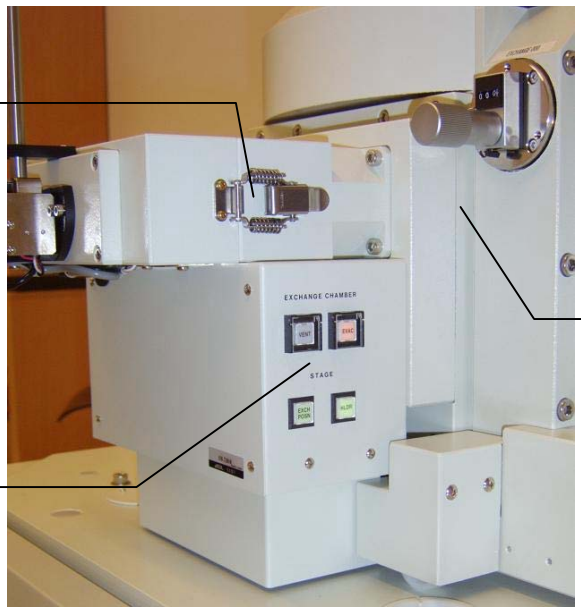


Abb. 2.14: Haupt- und Austauschkammer

Sobald das nötige Hochvakuum, welches zur Vermeidung von Wechselwirkungen dient, erzeugt wurde, beginnt das REM mit dem Scannen der Probenoberfläche.
Dabei wird ein gebündelter Elektronenstrahl nach einem bestimmten Raster über die Probe geführt und mit Hilfe von Magnetspulen nacheinander auf verschiedene Punkte fokussiert. Das REM misst die durch Interaktionen mit der Probe entstandene Rückstrahlung und die Software ordnet dieser Information einen Grauwert zu, welcher dann als Pixel am Bildschirm ausgegeben wird.
Das Modell JSM-6700F besitzt zur Erzeugung des Elektronenstrahls eine Feldemissionselektronenkanone. Durch Anlegen einer Hochspannung an die Wolframspitze der Kanone „tunneln“ die Elektronen aus dem Material. Diese Methode hat den Vorteil, dass auch schon bei geringen Beschleunigungsspannungen eine gute Bildqualität erreicht werden kann.

Die Probe lässt sich in der Hauptkammer des REM mit Hilfe einer Fernsteuerung und verbundenen Schrittmotoren [Abb 2.15] auf allen drei Raumachsen sehr präzise bewegen, ebenso ist ein Ankippen der Probe möglich.

Abb. 2.15: REM mit Steuerelementen

Der Computer generiert laufend ein grobes Übersichtsbild, welches bei Bewegungen der Probe oder Änderungen der Fokussierung sehr schnell aktualisiert wird.
Nachdem die gewünschte Position und Schärfe eingestellt wurde, kann durch einen Knopfdruck die aktuelle Position „eingefroren“ und das Bild in voller Qualität gescannt werden.
Die Bilder können mit der mitgelieferten Steuersoftware angezeigt und in einem bevorzugten Bildformat gespeichert werden.

2.2.4. Andere Bildquellen

Neben den von verwendeten Geräten gibt es natürlich noch eine Reihe anderer Möglichkeiten Bildmaterial für die Auswertung zu erstellen.
Im Prinzip kann jedes Gerät verwendet werden, das Bilder in einem zum Format „Bitmap“ kompatiblen Format erzeugt.
Man kann zum Beispiel auch eine handelsübliche Digitalkamera verwenden.

Neben der Möglichkeit andere Aufnahmegeräte zu verwenden, kann auch auf bereits bestehende Datenbanken zurückgegriffen werden.
Auf diese Datenbanken könnte man beispielsweise über das Internet zugreifen.

2.3. Programme zur Analyse

2.3.1. Carl Zeiss - Axio Vision

Die Software Axio Vision ist ein kommerzielles Programm aus dem Hause Zeiss.
Axio Vision ist ein Bildbearbeitungs- und Analyseprogramm für die moderne Mikroskopie, welches hauptsächlich im Bereich der Biologie zur Anwendung kommt. Die Software ist modular aufgebaut und kann je nach Bedarf durch weitere Module aufgewertet und an neue Anforderungsfelder angepasst werden.
Da das Discovery V12 ebenfalls von Zeiss entwickelt wurde ist diese Komponente als bildgebendes Instrument komplett an die Software angebunden und kann mit einfachen Handgriffen gesteuert werden.
Des Weiteren kann das Programm aber mit allen gängigen Bildquellen kommunizieren oder wenigstens die Bilder lesen und auswerten.
Für meine Diplomarbeit habe ich die Basisversion (Release 4.4, erschienen im Mai 2005) mit dem zusätzlichen Modul „Messassistent“ verwendet. Im Folgenden sollen die wichtigsten Module näher beleuchtet werden.

Bildaufnahme:

Die Software kann mit jeder gängigen Bildquelle kommunizieren oder wenigstens die Bilder lesen und auswerten.
Eine leichte und gleichzeitig hochwertige Bildaufnahme ist mit der AxioCam des Discovery V12 möglich, da auch diese Technologie von Zeiss entwickelt wurde und deshalb optimal eingebunden ist.

Mikroskopsteuerung:

Wie schon für die Bildaufnahme gilt auch hier, dass sich die Produkte von Zeiss mit dieser Software leicht steuern lassen. Vor allem die Speicherfunktion der Einstellparameter sowie die automatische Ermittlung der Vergrößerung bieten einen hohen Komfort.

Bildverarbeitung:

Nachdem die gewünschten Bilder geladen wurden, können sie zur Qualitätsverbesserung bearbeitet werden. Es stehen verschiedene Rauschfilter sowie Korrekturfunktionen für Farben, Beleuchtungseinflüsse, Kontrast und Helligkeit zur Verfügung.

Bildanalyse:

Dieses Modul beinhaltet die wichtigsten Funktionen für die Partikelauswertung. Hier gibt die Software dem Nutzer eine Vielzahl an Auswertungsmöglichkeiten an die Hand. Es besteht die Möglichkeit manuell einzelne Objekte zu vermessen, Maßstäbe einzuzeichnen, Partikel zu umranden oder Flächen und Winkel zu bestimmen.
Der wichtigste Punkt jedoch ist die Automation dieser Vorgänge, die in Verbindung mit dem Zusatzmodul „Messassistent“ möglich wird. Diese Funktion erspart erheblichen Zeitaufwand bei der Auswertung einer Vielzahl von Bildern.

Automatischer Messassistent (Zusatzmodul):

Mit Hilfe des Assistenten können Serien von geladenen Bildern mit einer vorher eingestellten Maske analysiert werden. Die Einstellungs- und Bearbeitungsmöglichkeiten sind dabei sehr vielfältig. Der Assistent ist wie das gesamte Programm in seiner Bedienung sehr nutzerfreundlich.

Außerdem standen noch die Module Dokumentation und Konfigurierbarkeit zur Verfügung. Diese Module wurden von mir kaum genutzt, werden sich aber gerade bei sehr großen Messreihen in späteren Arbeiten als nützlich erweisen. So kann zum Beispiel über eine Archivierung mit dem Dokumentationsmodul oder über eine Programmierung von ständig zu wiederholenden Arbeitsabläufen nachgedacht werden.

Ein ausführlicher Bedienungsablauf der Axio Vision Software, wie er für die Pulveranalyse durchgeführt wurde, wird in Kapitel 3 beschrieben.

2.3.2. Partikelanalyse I (programmiert in Delphi)

Im Rahmen einer vorherigen Studienarbeit wurde ein Programm zur Partikelanalyse in der Programmiersprache Delphi geschrieben.
Die Software wurde speziell für die vom Institut gestellten Ansprüche an eine Partikelanalyse entwickelt und ermöglicht eine schnelle Auswertung in allen grundlegenden Kriterien.
Mit dem Kauf des Discovery V12 ergaben sich neue Anforderungen an das bestehende Programm. So müssen z.B. die Bilder, die das Mikroskop liefert, zur Verarbeitung invertiert werden.
Außerdem wurde das Programm im Bereich der Fourieranalyse weiterentwickelt.
Im Folgenden soll auf die neuen Funktionen im Programm eingegangen werden. Die bestehende Programmstruktur wird nur kurz beschrieben und dargestellt, für weitere Erläuterungen und einen Bedienungsablauf wird auf Quelle 4 (S. 57 – 63) verwiesen.
Nach dem Programmstart erscheint zunächst das Hauptmenü. Hier können zunächst die auszuwertenden Bilder geladen werden.

Abb. 2.16: Hauptmenü Partikelanalyse 1

Das Programm kann in einem Analyseprozess eine beliebige Anzahl von Bildern laden und nacheinander auswerten. Die gewünschten Bilder müssen markiert und durch den Button „Öffnen“ geladen werden.

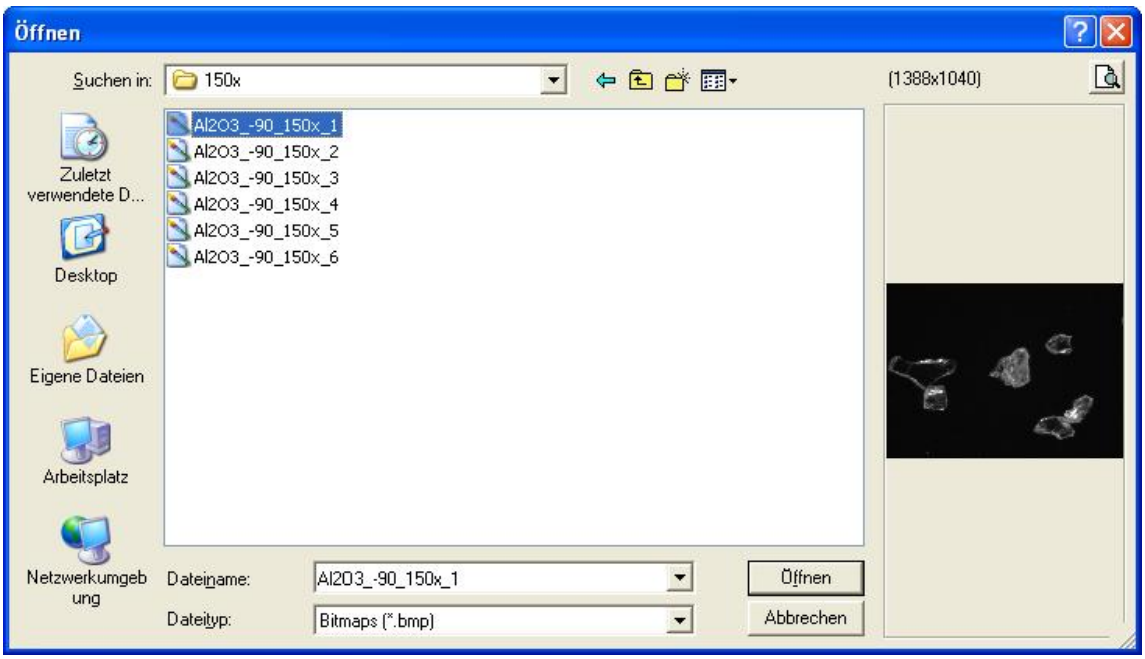


Abb. 2.17: auszuwertende Bilder zum Laden auswählen

Nachdem die Bilder im Programm geladen wurden, stehen verschiedene Formulare zur Einstellung und Analyse zur Verfügung.

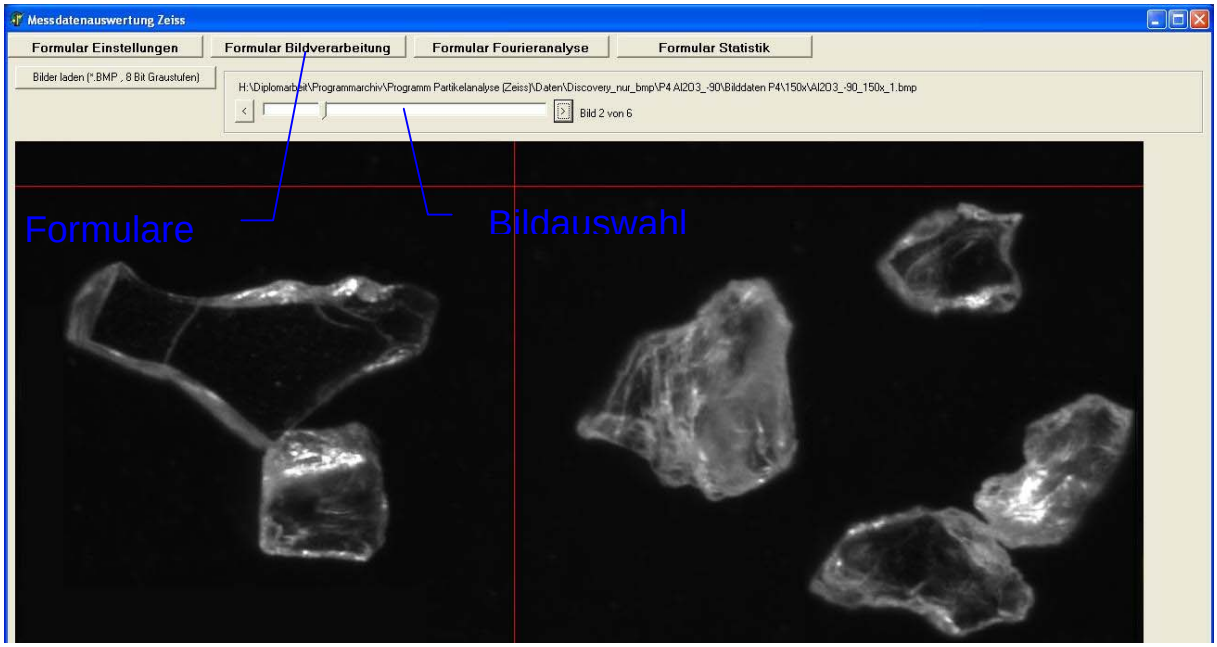


Abb. 2.18: geladene Bilder im Hauptmenü

Für einen dokumentierten und visualisierten Bedienungsablauf sei ebenfalls auf Quelle 4 (S. 57 – 63) verwiesen.

Formular Einstellungen:

Die Findung der einzelnen Partikel im Gesamtbild erfolgt mit der Methode der Kantendetektion [für nähere Erläuterungen siehe auch Quelle 5]. Hierfür kann der Schwellwert im Formular Einstellungen frei gewählt werden.
Die Bildverarbeitung wird mit dem angegebenen Schwellwert ausgeführt. Es kann zwischen mehreren Auswerteschritten gewählt werden.
Da das Programm für Bilder mit dunklen Partikeln auf hellem Grund entwickelt wurde, muss eine Aufnahme mit schwarzem Hintergrund vor der Kantendetektion zunächst invertiert werden.

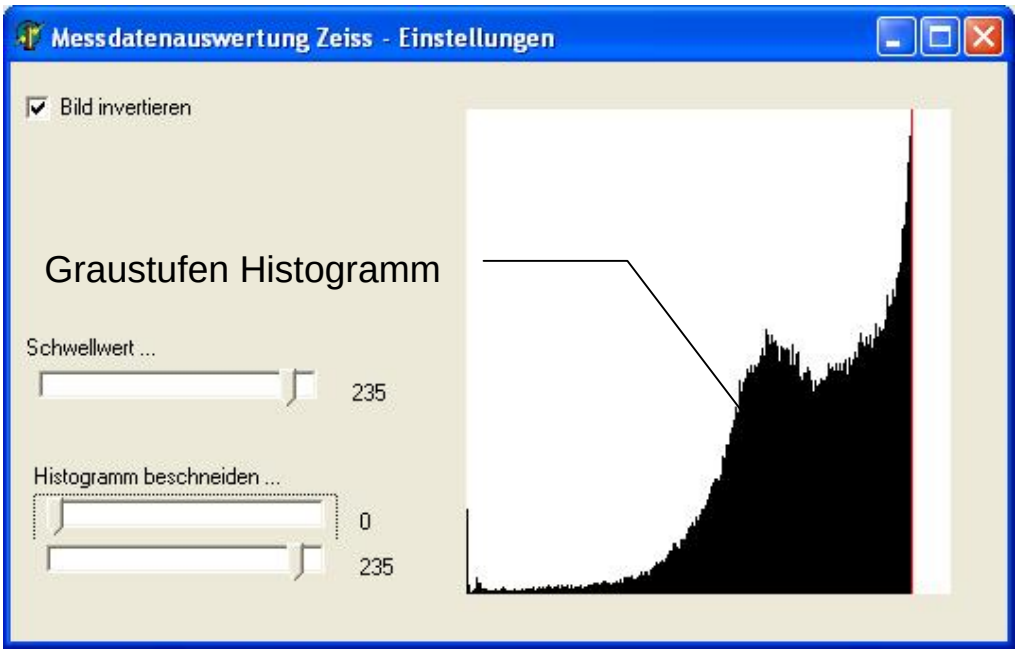


Abb. 2.19: Formular Einstellungen

Formular Bildverarbeitung:

Nach dem Aktivieren der Auswerteschritte steht ein umfassendes Auswerte-Formular zur Verfügung. Hier kann jedes erkannte Partikel in Verbindung mit den analysierten Parametern angezeigt werden. Das gewählte Partikel wird blau dargestellt.

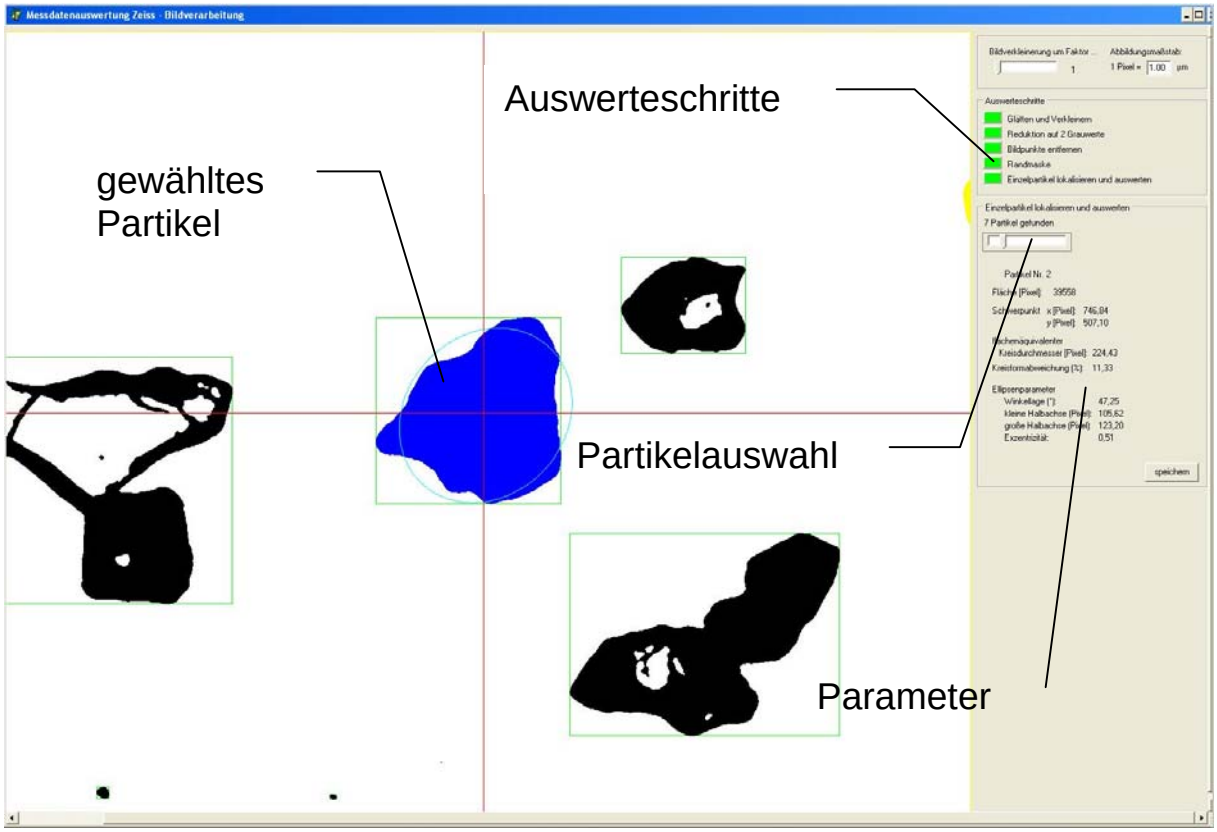


Abb. 2.20: Formular Bildverarbeitung

Formular Fourieranalyse:

Das für die Analyse verwendete Original-Partikel wird in der linken oberen Ecke dargestellt. Im Formular Bildverarbeitung kann dieses Partikel ausgewählt und seine Größe stufenweise verändert werden.
Zunächst wird der Flächenschwerpunkt aller zum Partikel gehörenden Pixel ermittelt. Um das Partikel wird eine geschlossene Polygonlinie berechnet, die sich aus den gemeinsamen Kanten zweier Pixel mit schwarz-weiß Übergang ergibt. Dann werden die Koordinaten der Schnittpunkte der Polygonlinie mit den Radialstrahlen vom Flächenschwerpunkt in konstanten Winkelschritten ermittelt.
Die Koordinaten werden im Fenster rechts neben der Auswertung angezeigt.

Die Abstände der Koordinaten vom Flächenschwerpunkt werden in einem Diagramm unter der Partikelauswertung dargestellt (rote Grafik, „Zeitfunktion“). Diese Zeitfunktion wird periodisch fortgesetzt und dann in eine Fourierreihe entwickelt.

Kontinuierliche Darstellung

$$f(x) = b_0 + \sum_{\kappa=1}^{\infty}(a_\kappa \cdot \sin(\kappa x)) + \sum_{\kappa=1}^{\infty}(b_\kappa \cdot \cos(\kappa x))$$

mit: $$b_0 = \frac{1}{2\pi}\int_{x=0}^{2\pi} f(x)\cdot dx$$

$$a_\kappa = \frac{1}{\pi}\int_{x=0}^{2\pi} f(x)\cdot \sin(\kappa x)\cdot dx$$

$$b_\kappa = \frac{1}{\pi}\int_{x=0}^{2\pi} f(x)\cdot \cos(\kappa x)\cdot dx$$

Diskretisierte Darstellung (N Werte je Periode, $\Delta x = \frac{2\pi}{N}$)

$$f(x_\nu) = b_0 + \sum_{\kappa=1}^{N}(a_\kappa \cdot \sin(\kappa x_\nu)) + \sum_{\kappa=1}^{N}(b_\kappa \cdot \cos(\kappa x_\nu))$$

$$f(x_\nu) = b_0 + \sum_{\kappa=1}^{N}(c_\kappa \cdot \sin(\kappa x_\nu + \varphi_\kappa))$$

mit: $$b_0 = \frac{1}{N}\cdot\sum_{\nu=1}^{N}\left(f(x_\nu)\cdot\frac{2\pi}{N}\right)$$

$$a_\kappa = \frac{2}{N}\cdot\sum_{\nu=1}^{N}\left(f(x_\nu)\cdot\sin(\kappa x_\nu)\cdot\frac{2\pi}{N}\right)$$

$$b_\kappa = \frac{2}{N}\cdot\sum_{\nu=1}^{N}\left(f(x_\nu)\cdot\cos(\kappa x_\nu)\cdot\frac{2\pi}{N}\right)$$

$$c_\kappa = \sqrt{a_\kappa{}^2 + b_\kappa{}^2}$$

Die diskretisierten Werte c_κ werden im Fenster „Ergebnisse Fourier“ ausgegeben und in der grünen Grafik dargestellt.

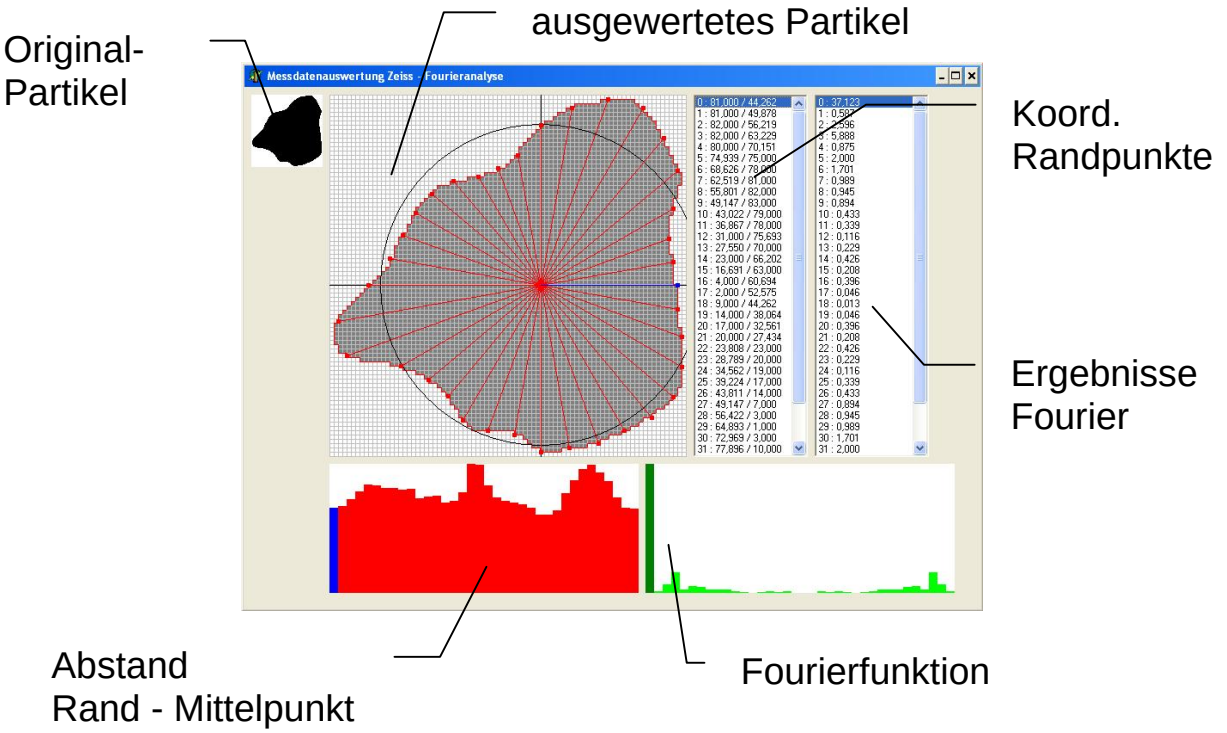


Abb. 2.21: Formular Fourieranalyse

Formular Statistik:

Das Gesamtergebnis der Analyse aller geladenen Bilder wird durch eine umfassende Histogramm-Darstellung visualisiert.
Bei der Darstellung kann zwischen verschiedenen Parametern gewählt werden. Auch die Spalten des Histogramm können frei gewählt werden.

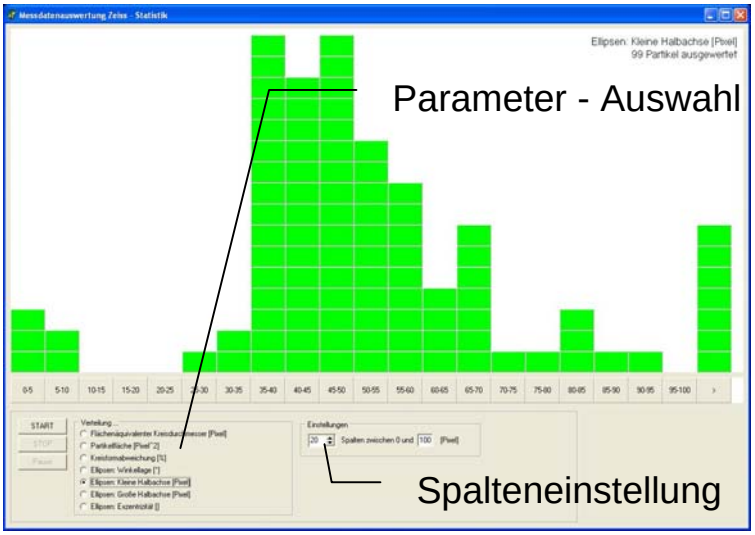


Abb. 2.22: Formular Statistik

2.3.3. Partikelanalyse II (programmiert in Delphi)

Das Programm Partikelanalyse 2 wurde ebenfalls in Delphi geschrieben. Es wurde entwickelt um Pulverproben zu analysieren und die Parameter der einzelnen Partikel zu ermitteln.

Nach dem Programmstart durch die entsprechende Anwendungsdatei wird zunächst das Hauptmenü geöffnet.

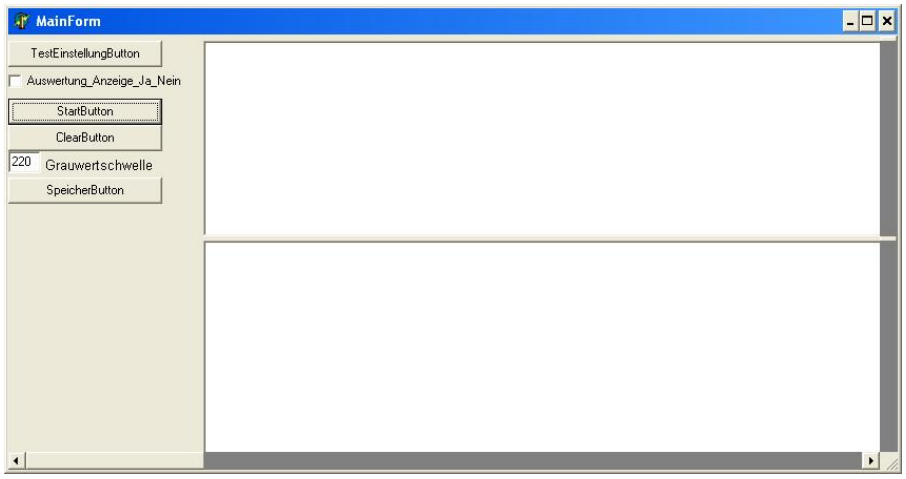


Abb. 2.23: Hauptmenü Partikelanalyse 2

Das Programm bietet die Möglichkeit, mehrere Bilder in einem Arbeitsgang zu laden und auszuwerten. Die Bilder können aber auch zur erweiterten Ansicht der Ergebnisse und Ermittlung der optimalen Analyse-Einstellungen einzeln geladen werden.
Um ein einzelnes Bild zu laden gelangt man über den „TestEinstellung-Button“ zum Einzelbearbeitungsmenü.
Sofort beim Aufruf öffnet sich das Fenster, in dem das jeweilige Bild zum laden ausgewählt werden muss.

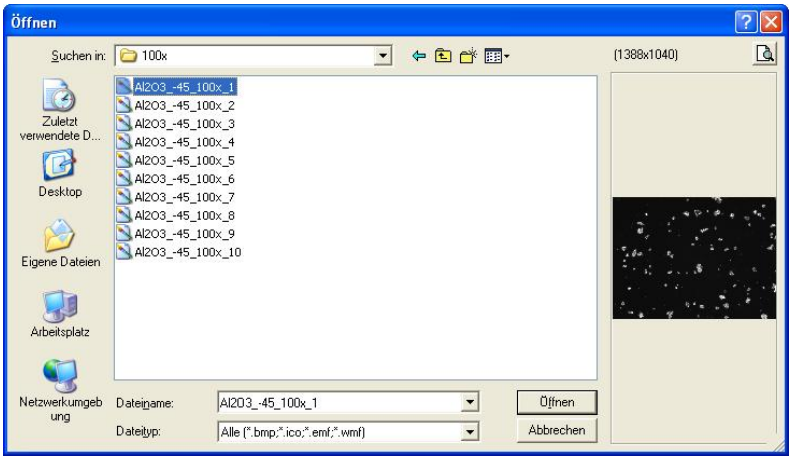


Abb. 2.24: Bilder laden für Einzelbearbeitung

Nachdem das Bild ausgewählt und geöffnet wurde, gelangt man zum Einzelbearbeitungsmenü. Hier wird das gewählte Bild mit dem Button „Laden“ auf der Nutzeroberfläche angezeigt.
Mit dem Button „Übernehmen“ werden die Bilddaten zur Bearbeitung vom Programm übernommen.

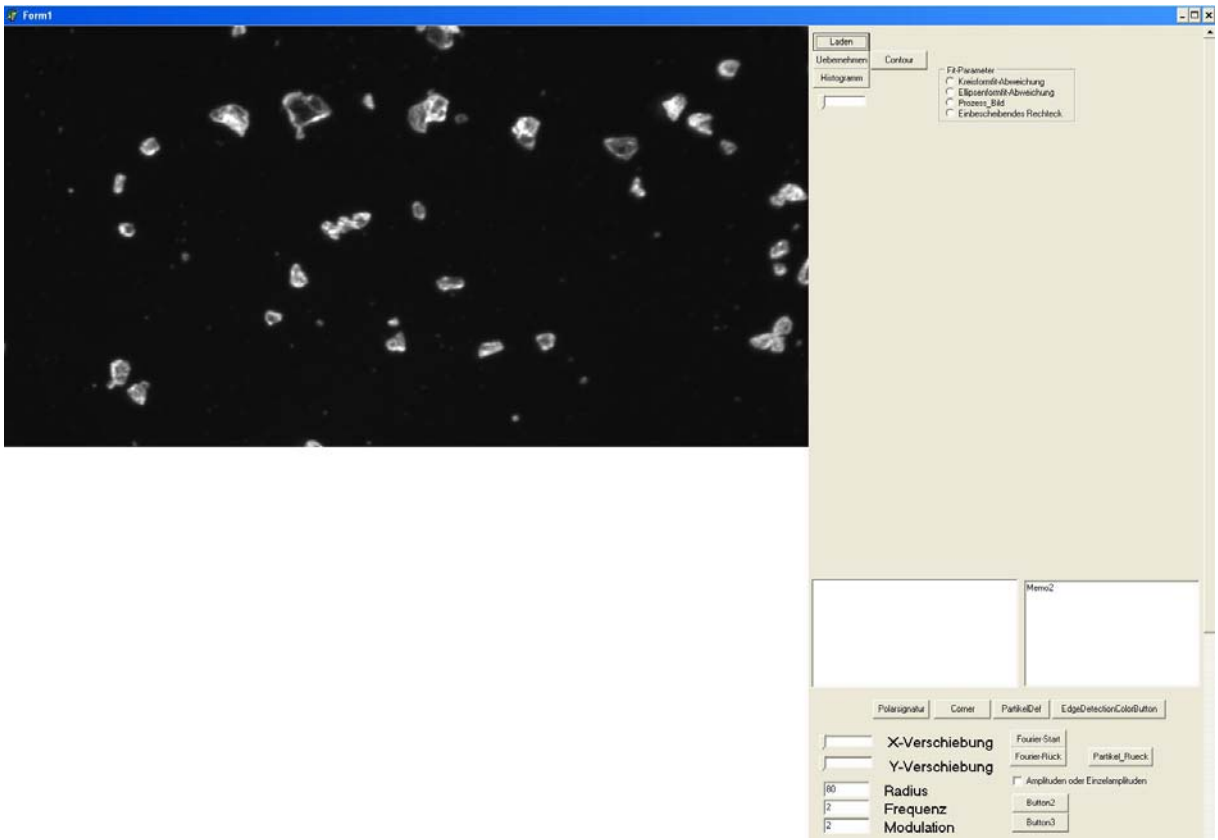


Abb. 2.25: Einzelbearbeitungsmenü mit übernommenem Bild

Das Programm bietet neben der Ermittlung der Parameter noch weitere Funktionen, wie z.B. eine Fourieranalyse oder eine weitere Kantendetektion für RGB-Bilder. Diese Funktionen werden hier nicht benötigt und deshalb auch nicht ausführlich beschrieben. Die Steuerflächen befinden sich im unteren rechten Bereich der Nutzeroberfläche.

Nach Anklicken des Button „Histogramm“ invertiert das Programm die zuvor übernommenen Bilddaten und erstellt ein Histogramm der Grauwertverteilung der Bildpunkte. Die Ausgabe der Häufigkeiten der einzelnen Grauwerte kann auch im Memo 1 verfolgt werden.
Das Programm führt gleichzeitig eine Kantendetektion [Thema Studienarbeit Quelle 3] zur Erkennung der einzelnen Partikel durch. Der dafür verwendete Schwellwert kann mittels Schieberegler eingestellt werden, die Veränderungen erfolgen dynamisch.

Im Image 1 (oben) wird das Binärbild der einzelnen Partikel dargestellt, im Image 2 (unten) wird das Kantenbild ausgegeben.

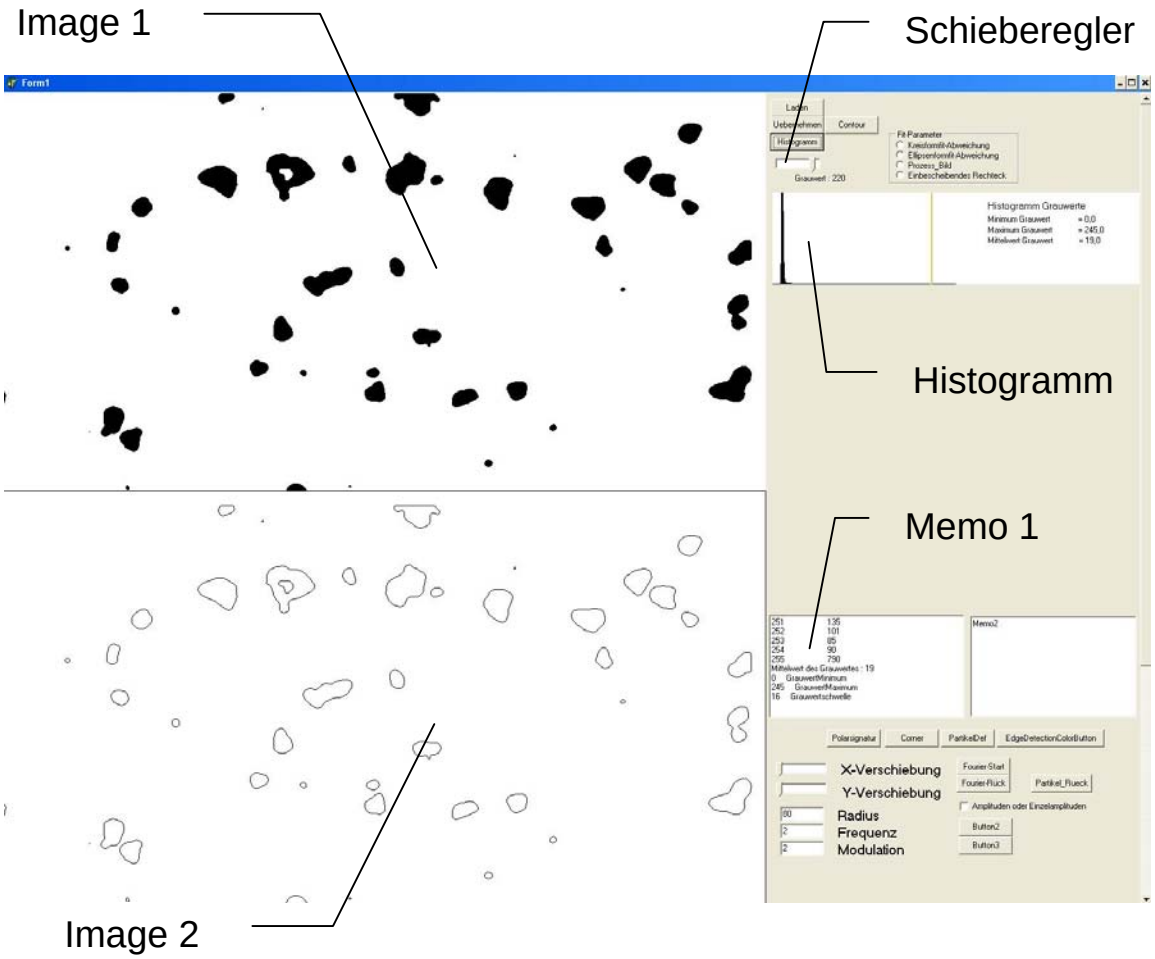


Abb. 2.26: Kantenbilder mit Histogrammverteilung

Durch die Funktion „Contour“ wird die Auswertung der einzelnen Partikel gestartet. Das Programm ermittelt die in Kapitel 7.3.3 aufgelisteten Parameter der erkannten Objekte. Zur Kennzeichnung wird jedes Partikel mit einer eigenen ID beschriftet.
In der Fit-Parameter Auswahl-Box können verschiedene Parameter der Partikel direkt im Image 2 dargestellt werden. Es kann zwischen der Ansicht der Abweichung der Partikel vom flächenäquivalenten Kreis oder der flächenäquivalenten Ellipse sowie einer Ansicht des einbeschriebenen Rechtecks oder dem Prozess-Bild gewählt werden.
Mit Hilfe der Funktion „SignalObjekt“ werden die Parameter eines einzelnen Partikels, das über die Angabe der ID in der Textbox neben dem Button festgelegt werden kann, in Image 2 dem Bild hinzugefügt.
Alle Ansichten, die in der Fit-Parameter Box ausgewählt werden können sowie das Binärbild und das Histogramm der Grauwertverteilung,

werden vom Programm durch den Button „Speichern“ im Ordner „Ausgabe“ (befindet sich im Programmordner) als Bitmap abgespeichert.
Das Menü zur Einzelbearbeitung kann durch das Kreuz in der rechten oberen Ecke geschlossen werden.
Das Hauptmenü der Partikelanalyse 2 erscheint.

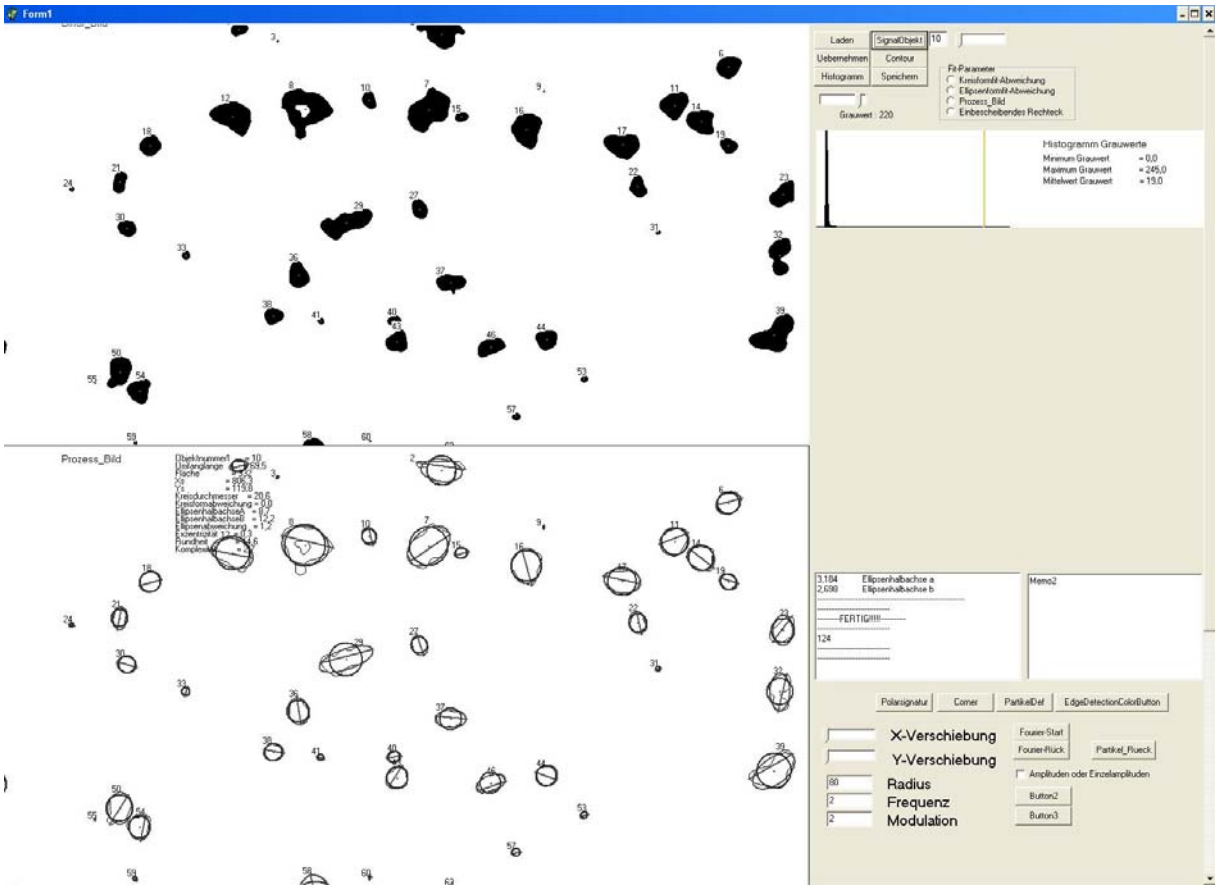


Abb. 2.27: Darstellung der Parameter an gekennzeichneten Partikeln

Im Hauptmenü kann mit dem „StartButton“ die automatische Auswertung von mehreren Bildern gestartet werden. Vor dem Start der Auswertung kann dem Programm im Textfeld die gewünschte Grauwertschwelle vorgegeben werden [Abb. 2.23].
Im folgenden Menü können mehrere Bilder markiert und durch den Button „Öffnen“ geladen werden.

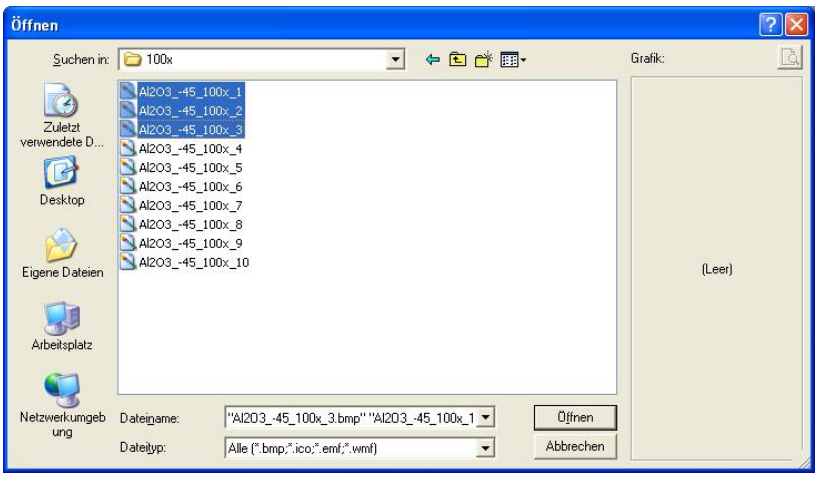


Abb. 2.28: Laden von mehreren Bildern für automatische Auswertung

Das Programm wertet im Folgenden die Bilder nacheinander aus.
Im Memo 1 werden die Pfade der geladenen Bilder angezeigt, in Memo 2 werden die Einträge der Ausgabedatei (mit den ermittelten Parametern) ausgegeben.
Der Auswerteprozess kann jederzeit mit dem „ClearButton“ gestoppt und das Programm zurückgesetzt werden.
Während des gesamten Auswertevorgangs kann - zur Beobachtung - die Einzelbildauswertung über die Auswahlbox im Hauptmenü angezeigt werden.
Ist die Auswertung abgeschlossen, kann die Ausgabedatei mit dem „SpeicherButton“ im Ordner der geladenen Bilder gesichert werden.

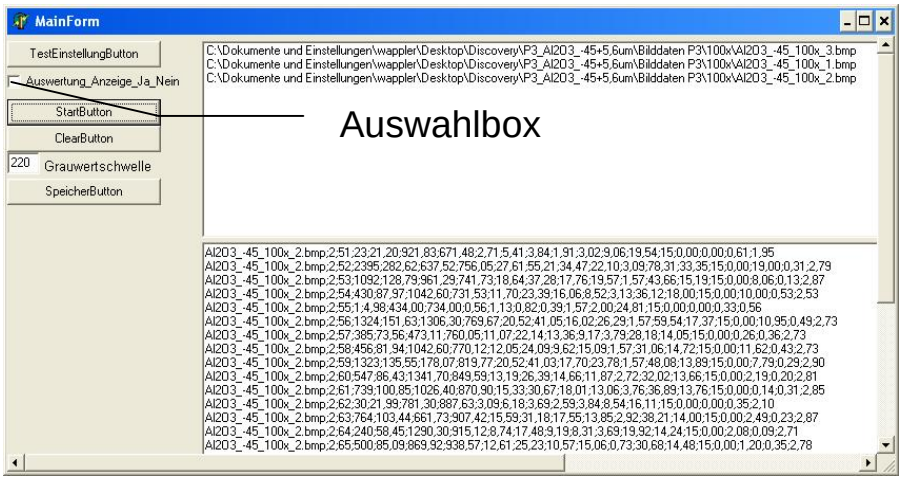


Abb. 2.29: Auswertung und Anzeige bei der Auswertung mehrerer Bilder

3. Bedienungsablauf einer Partikelanalyse mit Discovery.V12 und Axio Vision

Im folgenden Abschnitt wird ein detaillierter Überblick über einen Analysevorgang mit dem Stereomikroskop Zeiss Discovery V12 in Verbindung mit dem Programm Axio Vision gegeben.
Zunächst wird die Arbeit mit der Pulverprobe am Mikroskop beschrieben. Ein weiterer Abschnitt zeigt an Hand von Screenshots wie die Bildfindung und –erstellung sowie die Auswertung der Partikel durchgeführt wird.

3.1. Präparieren der Pulverprobe

Das saubere Präparieren der Probe ist die Grundlage für eine repräsentative Auswertung und muss deshalb besonders sorgfältig durchgeführt werden.
Für die Pulveranalyse ist es von großem Vorteil, wenn die einzelnen Partikel möglichst zweidimensional und durch Abstände getrennt voneinander auf den Objektträger aufgebracht werden können.
Liegen die einzelnen Partikel in mehreren Schichten übereinander oder berühren und überschneiden sich ihre Kanten, kann die Software und auch das menschliche Auge die wahre Abgrenzung der einzelnen Objekte oft nur sehr schwer oder gar nicht definieren.
Dies führt zu Fehlern in der Auswertung, da die Parameter mehrerer verbundener Partikel, welche vom Programm als ein Objekt erkannt werden, nicht in die wahre Größenordnung des Pulvers fallen.

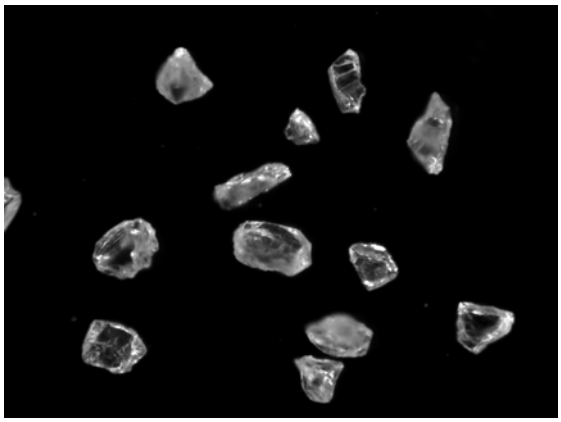


Abb. 3.1a: gute Präparation

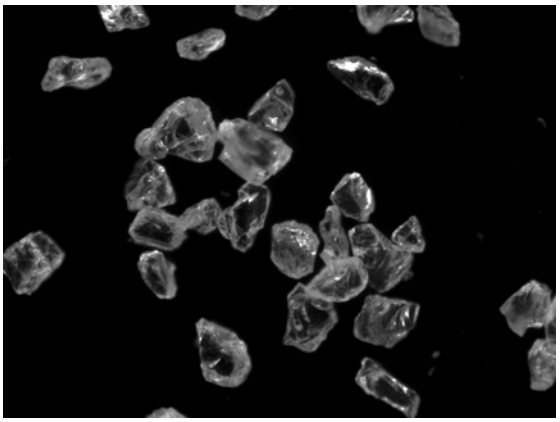


Abb. 3.1b: schlechte Präparation

Das Pulver nach diesen Anforderungen auf den Objektträger aufzubringen, stellt für den Präparator eine Herausforderung dar.

Nach mehreren Versuchen, eine geeignete Präparationsmethode zu finden, z.B. durch das zusätzliche Aufbringen von Klebstoff oder Tesafilm, zeigte sich, dass die herkömmliche Weise, Pulver auf den Objektträger aufzubringen, die effektivste ist.
Als Objektträger dienen beispielsweise Glasplatten der Größe 200 x 90 mm, da sich diese für die spätere Bildfindung wesentlich besser verschieben lassen als kleinere Träger.

Vor dem Aufbringen der Probe sollte der Objektträger mit einem Reinigungsmittel (z.B. Spiritus) und einem fusselfreien Tuch gründlich gereinigt werden, um Staub und Pulverreste zu entfernen.

Abb. 3.2: Reinigung des Objektträgers

Das Pulver wird am besten aus einem kleineren Behältnis, z.B. einem verschraubbaren Reagenzglas, mit einem Spatel oder direkt dünn auf das Trägerglas aufgestreut.
Für Rechtshänder/Linkshänder empfiehlt es sich, das Pulver im linken/rechten Bereich des Trägers aufzubringen, um später eine bessere Handhabung zu erreichen.

Vorsicht: Nicht zu viel Pulver aufbringen! Je mehr Pulver aufgebracht wird, desto schwerer wird es, die Partikel 1-lagig anzuordnen - außerdem reichen schon kleine Mengen für eine Betrachtung aus.

Abb. 3.3: Aufbringen des Pulvers

Um das Pulver möglichst 1-lagig auf dem Glas zu verteilen, kann man **leicht** mit dem Handrücken an die Kanten des Objektträgers schlagen.
Es ist auch möglich, das Pulver durch Ankippen des Trägerglases zu verteilen. Bei dieser Methode muss aber darauf geachtet werden, dass bei zu starkem Kippen die größeren Partikel vom Glas rutschen, während der Feinanteil haften bleibt. Gerade bei der Analyse eines breit verteilten Pulvers führt dies zu einer Verfälschung der Ergebnisse.

Bei der Präparation kann es zu einer leichten statischen Aufladung der Glasplatte kommen. Dies hat zur Folge, dass sich die Partikel auf die kleinste ihrer Körperflächen stellen und so die Auswertung beeinflussen. Eine nochmalige Reinigung mit Ethanol hat sich hier als hilfreich erwiesen.

3.2. Aufnahme eines Probenbildes

Die präparierte Pulverprobe wird nun durch das Auflegen auf die Grundplatte in den Objektraum des Mikroskops gebracht.
Während die AxioCam schon beim PC-Start aktiviert wird, müssen die Steuereinheit sowie die Kaltlichtquelle durch Betätigen des jeweiligen Netzschalters eingeschaltet werden.
Nach Einstellung der Beleuchtungsintensität und der Vergrößerung mit Hilfe der Systemsteuereinheit ist es jetzt möglich, die Probe mit einem Blick durch die beiden Okulare zu betrachten. Mit Hilfe der Fokussiereinrichtung an der Haltesäule kann der Abstand des Objektivs vom Objekt und somit die Bildschärfe reguliert werden.
Um eine Aufnahme von der Probe zu machen, muss zunächst die Axio Vision Software durch Doppelklick auf das Verknüpfungssymbol gestartet werden [Abb. 3.4].

Abb. 3.4: Starten der Axio Vision Software

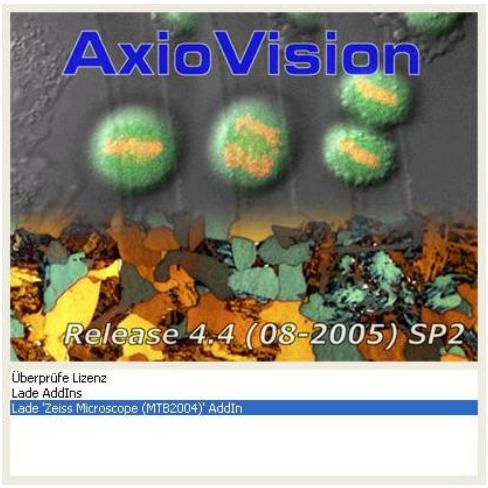


Abb. 3.5: Laden der Applikationen

Abb. 3.6: Dongle

Der Hersteller schützt sein Programm durch einen Lizenzschlüssel.
Der Schlüssel ist auf einem Dongle gespeichert, der während der Arbeit mit dem Programm immer per USB-Port mit dem PC verbunden sein muss [Abb. 3.6].
Beim Programmstart werden alle nötigen Applikationen geladen, die für die Kommunikation zwischen Mikroskop, Kamera und Rechner nötig sind [Abb. 3.5].

Auf der Benutzeroberfläche befindet sich am linken Rad der Arbeitsbereich. Hier werden alle Geräte und Einstellungsmöglichkeiten verwaltet.
Im Arbeitsbereich „Mikroskop“ können die verschiedenen Objektive ausgewählt werden. Das Mikroskop im Institut verfügt nur über das PlanApo S 1.5x. Dieses Objektiv muss für eine automatische Skalierung ausgewählt sein!
Durch Klicken auf den Eintrag „AxioCamMR“ wird die Einstellungskartei der Kamera aufgerufen.
Axio Vision konfiguriert auf Wunsch die Einstellungen der Kamera automatisch. Je nach Beleuchtung und Qualität des empfangenen Bildes reguliert das Programm die Belichtungszeit oder führt einen Wießabgleich durch [Abb. 3.7].

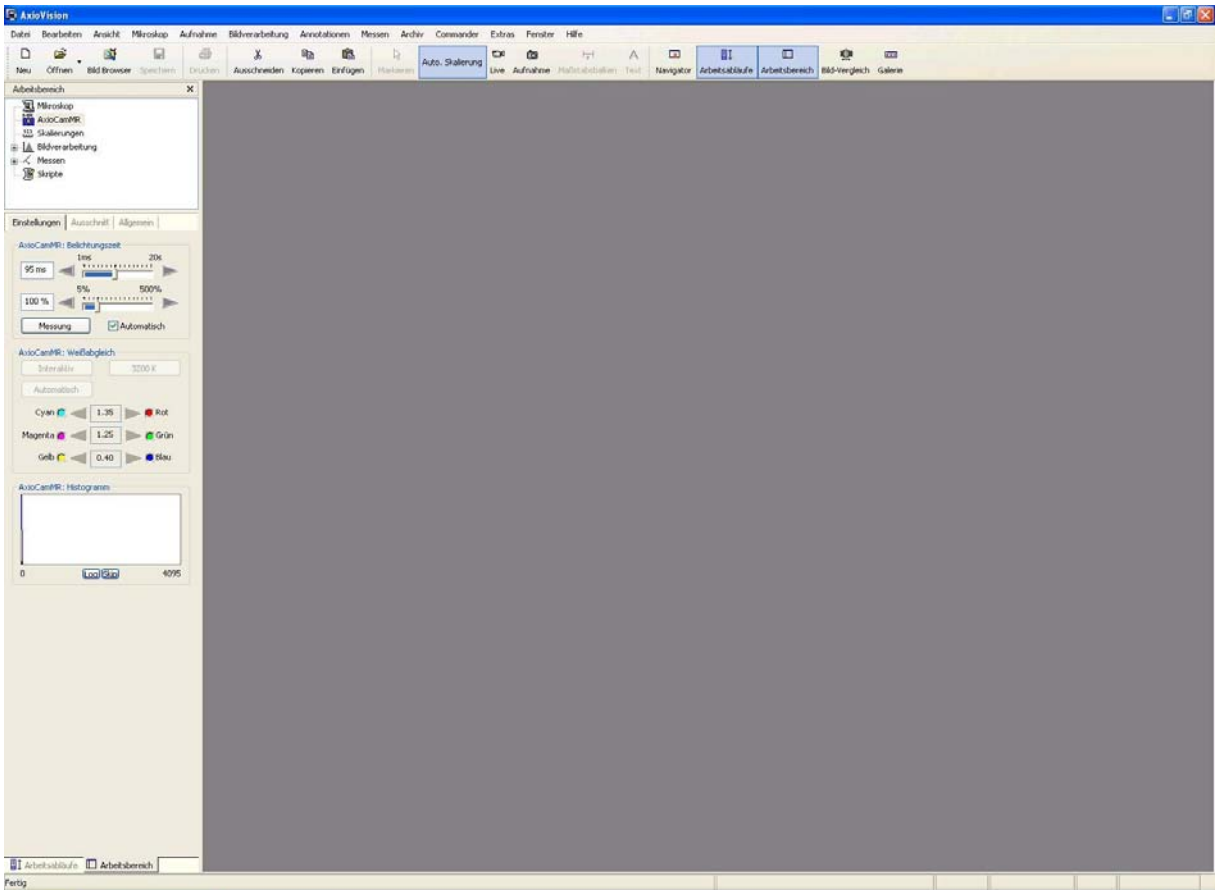


Abb. 3.7: Einstellungskartei AxioCam – Registerkarte Einstellungen

In der Registerkarte „Ausschnitt“ kann zwischen dem RGB oder S/W Modus der Kamera sowie der gewünschten Auflösung gewählt werden. Weiterhin kann hier die Größe des Bildausschnittes, der von der Kamera aufgezeichnet wird, festgelegt werden [Abb. 3.8].

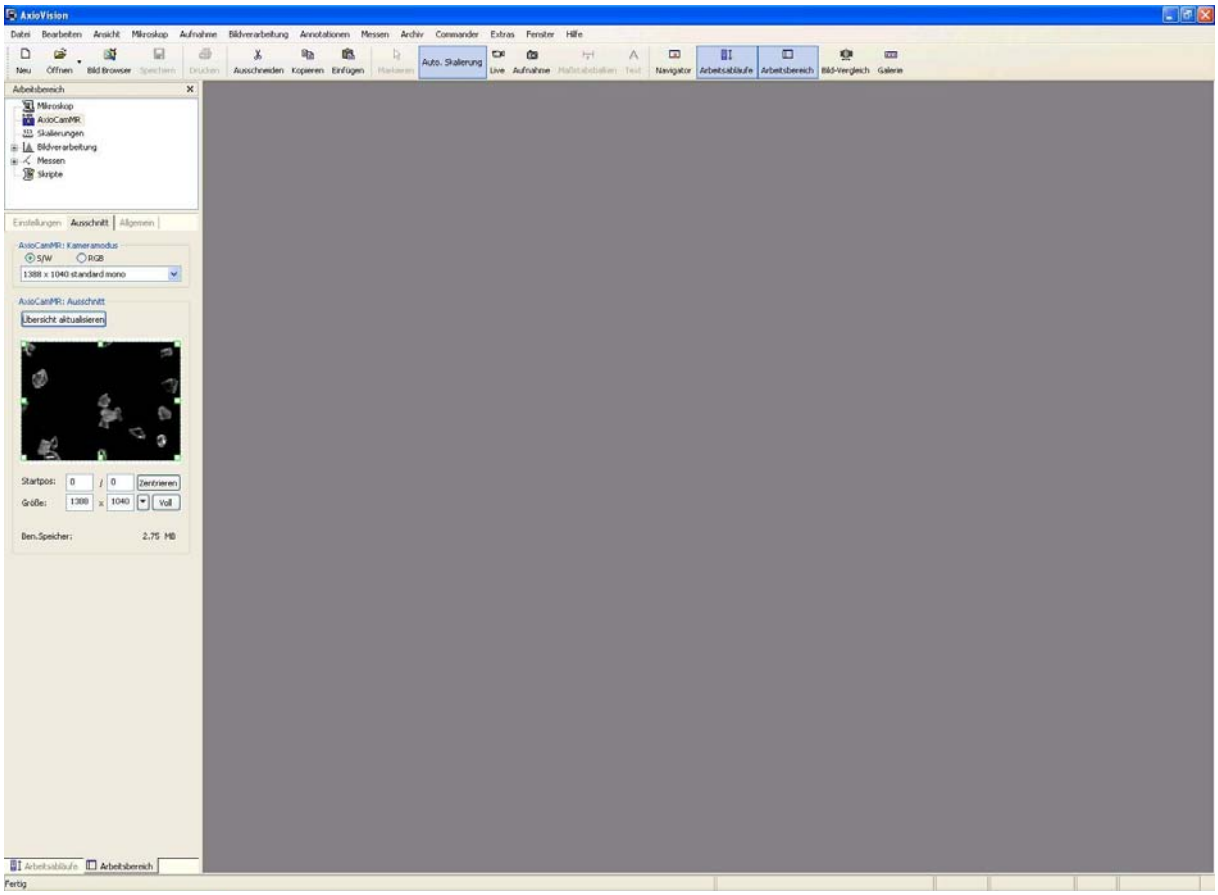


Abb. 3.8: Einstellungskartei AxioCam – Registerkarte Ausschnitt

Durch einen Klick auf den Button „Live“ wird das aktuell von der Kamera empfangene Bild in einem Fenster angezeigt.
Es ist darauf zu achten, dass mit dem Schieberegler am Mikroskopkörper (unter der Kamera, siehe Abb. 2.9) der linke Optikgang für die Kamera freigegeben wurde. Im Live-Ansicht-Fenster können weitere Einstellungen vorgenommen werden. Die Aufnahmegeschwindigkeit der Kamera kann in drei Stufen reguliert werden. In der Stufe „langsam“ sendet die Kamera weniger Bilder pro Sekunde, dafür hat das Live-Bild eine bessere Qualität. Eine wichtige Einstellung ist die Skalierung, die vom Programm für das Bild verwendet werden soll. Durch die Funktion der automatischen Skalierung weißt das Programm jeder Aufnahme einen Maßstab zu, der eine spätere Auswertung der Partikel in der Längeneinheit µm ermöglicht. Es ist deshalb wichtig, hier immer den vorkonfigurierten Maßstab „Discovery.V12_PlanApoS_1.5x“ für das Discovery-Mikroskop in Verbindung mit dem 1.5x- Objektiv auszuwählen [Abb. 3.9].

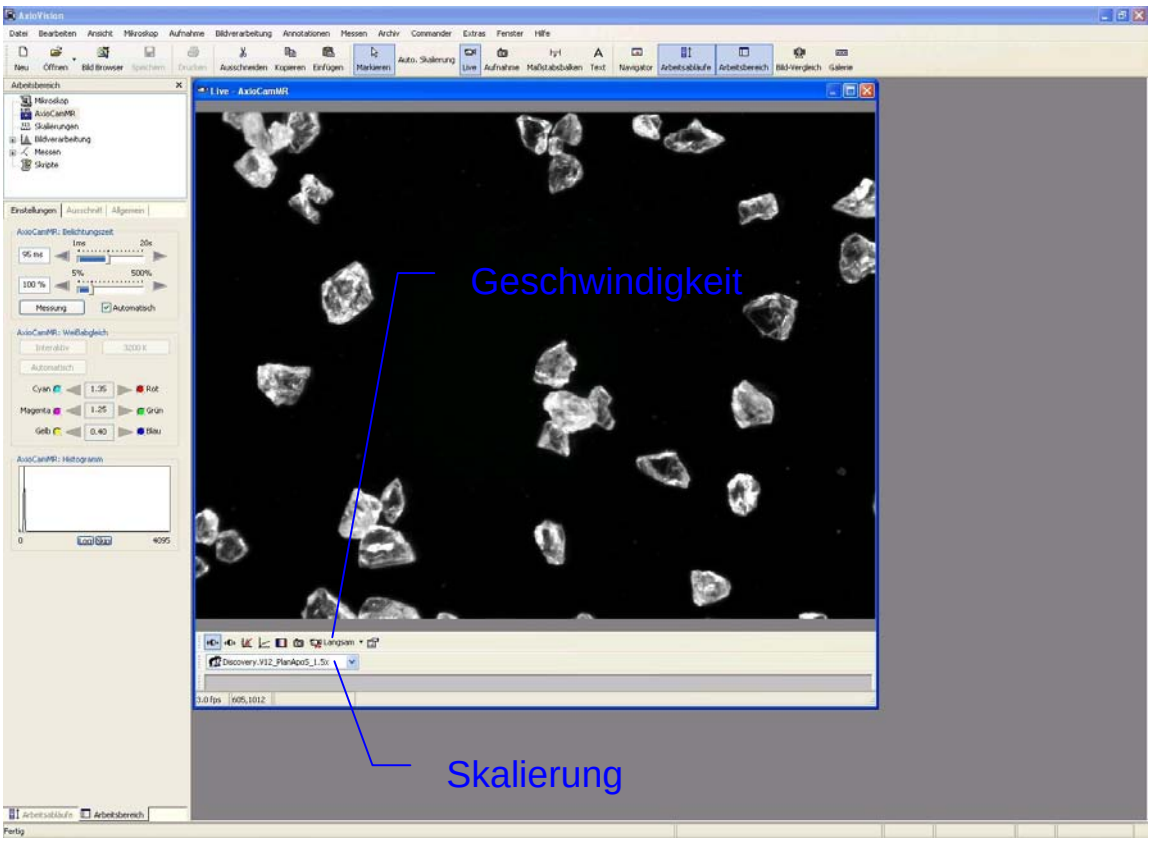


Abb. 3.9: Axio Vision Live – Bild Fenster

Abb. 3.10: Live – Bild mit Überbelichtungsanzeige

Für die Auswahl der optimalen Lichtintensität besitzt das Programm eine Funktion, die überbelichtete Bereiche im Live-Bild rot kennzeichnet.
Überbelichtung muss bei den Aufnahmen der Pulverproben vermieden werden, da durch die Lichtstreuung die Kanten der Partikel unscharf werden und die wahre Größe verfälscht wird [Abb. 3.10].

Das Programm führt bei einer Aufnahme gleichzeitig die Speicherung des digitalen Bildes durch, deshalb muss zunächst noch ein Speicherpfad festgelegt werden.
Der Pfad wird im Menü „Extras → Optionen“ in der Registerkarte „Speicherung“ eingefügt.
Hier kann auch das gewünschte Bildformat für die zu speichernde Aufnahme ausgewählt werden [Abb. 3.11].

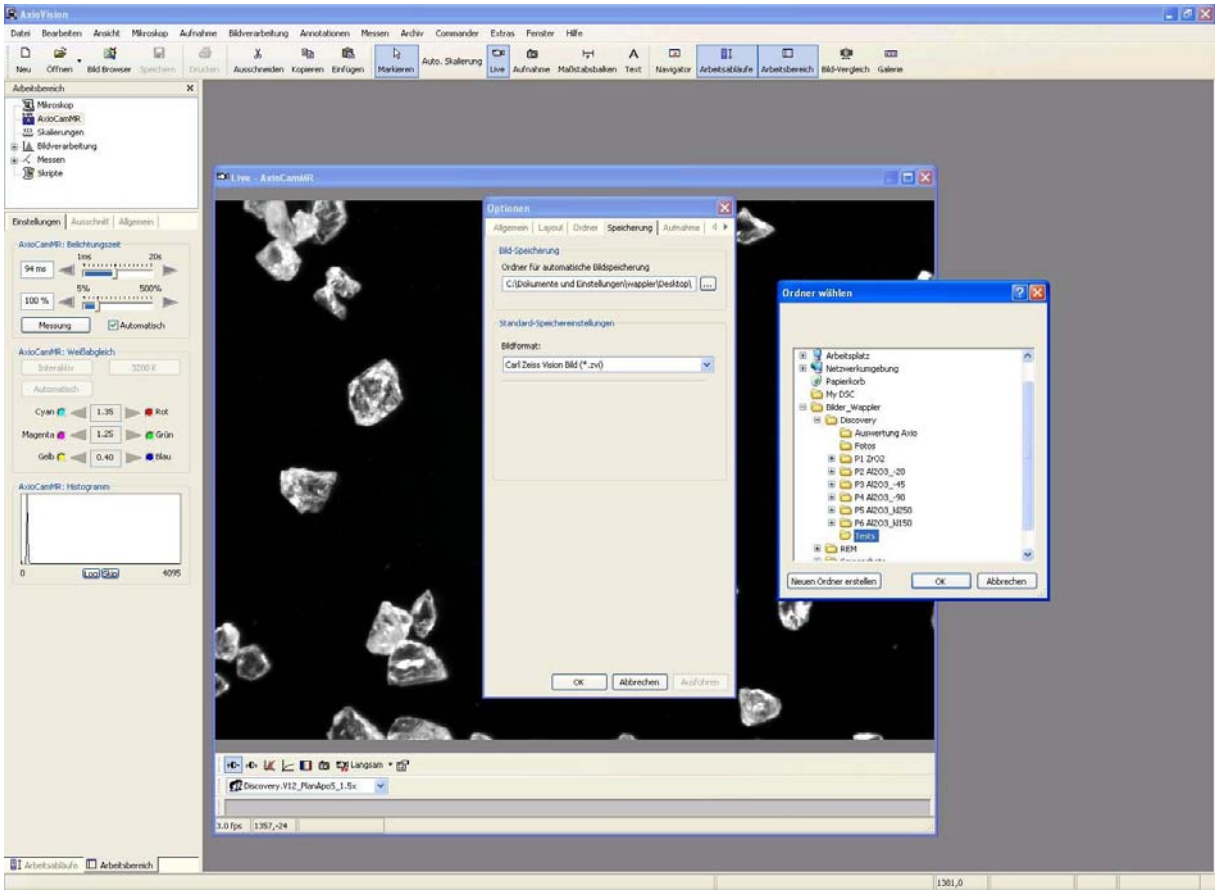


Abb. 3.11: Einstellung des Speicherpfads

Nachdem alle Einstellungen durchgeführt wurden, kann das Live- Bild durch einen Klick auf die Schaltfläche „Aufnahme“ in das Programm übernommen und abgespeichert werden. Mit dieser Funktion ist ebenfalls die Taste „F2“ belegt.
Sollen keine weiteren Aufnahmen mehr gemacht werden, kann das Live-Bild-Fenster geschlossen werden.

Axio Vision ordnet alle geöffneten Aufnahmen in Form von Registerkarten auf der Arbeitsoberfläche an [Abb. 3.12].

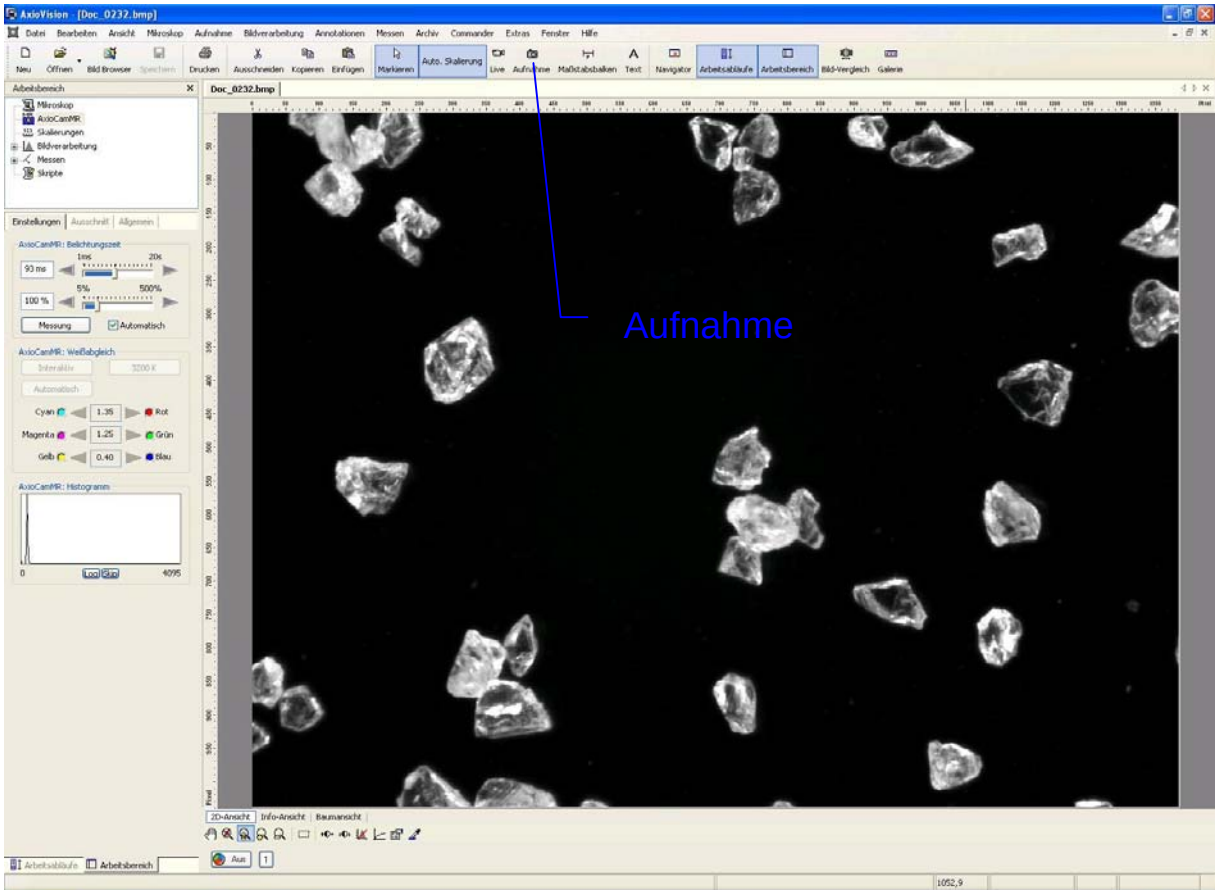


Abb. 3.12: Anordnung der Aufnahmen auf der Arbeitsoberfläche

3.3. Analyse der digitalen Bilder

Axio Vision bietet eine Reihe von Analysemöglichkeiten. Im Menüpunkt „Messen“ können verschiedene Funktionen zur manuellen Auswertung, wie z.B. Längenmessung, Konturen oder Maßstabbalken, ausgewählt werden.
Für eine repräsentative Analyse der Probe ist es jedoch notwendig eine Vielzahl von Bildern der Probe auszuwerten. Die Komponente „Automatischer Messassistent“ erleichtert durch Automation der Vorgänge diese Arbeit.
Zunächst muss an Hand eines auszuwertenden Bildes die vom Messassistenten zu verwendende Maske definiert werden.
Um die Einstellungen dieser Analyse-Maske vorzunehmen, wird der Menüpunkt „Messen → Automatische Messprogramme → Messprogramm-Assistent“ ausgewählt [Abb. 3.13].

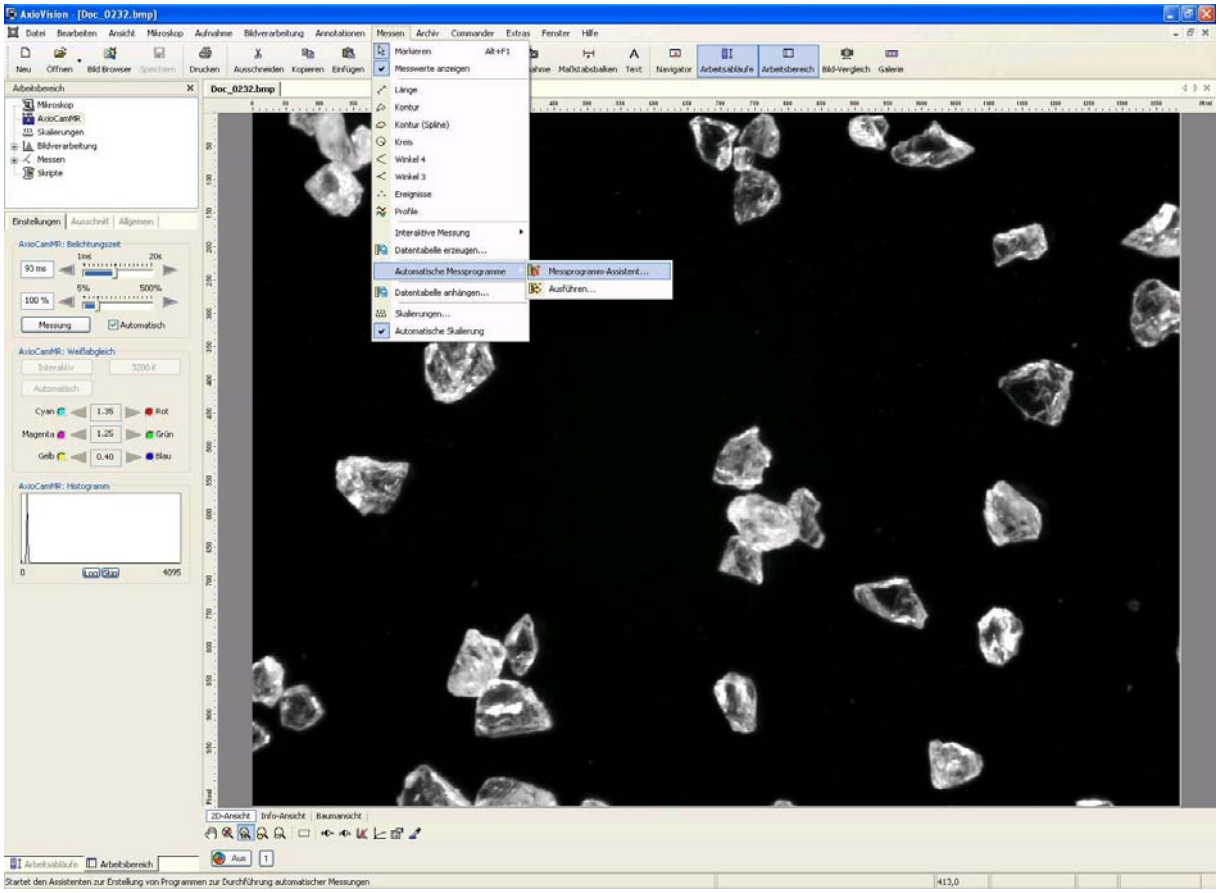


Abb. 3.13: Aufrufen des Messprogramm - Assistenten

[Messprogramm-Assistent]

Der Assistent führt den Benutzer Schritt für Schritt durch den Konfigurationsvorgang. Im oberen Bildbereich befindet sich immer der Name des

Konfigurationsabschnittes sowie eine kurze Erklärung zu den auf dieser Seite möglichen Einstellungen.
Zunächst muss eine bestehende Messmaske aus dem Scroll-Menü zur Bearbeitung ausgewählt oder eine neue Maske angelegt werden.
Neben dem Namen können auch kurze Beschreibungen, beispielsweise Bearbeiter und Erstellungsdatum, angegeben werden [Abb. 3.14].

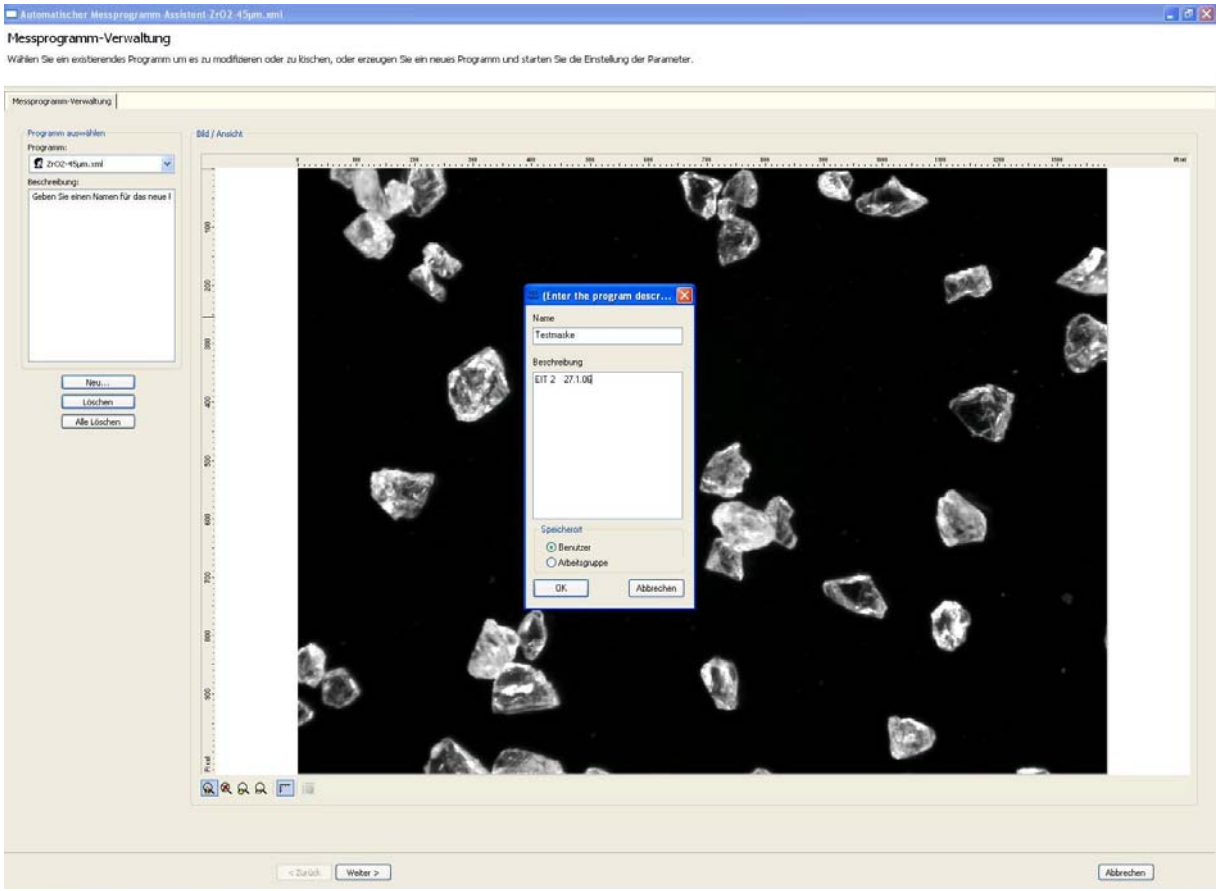


Abb. 3.14: Konfigurationsabschnitt – Messprogramm Verwaltung

[weiter]

Im ersten Einstellungsfenster können Helligkeit, Kontrast und der Gamma-Wert des Bildes verändert werden. Bei den verschiedenen Auswertungen zeigte sich, dass die Bilder, die das Discovery Mikroskop liefert, durch die schon angesprochenen Einstellungsmöglichkeiten in der Regel von sehr guter Qualität sind. Bei der Änderung der Parameter wendet der Computer verschiedene Berechnungsalgorithmen auf das Bild an und verändert Werte des Originalbildes. Durch diese Änderungen kann sich die scheinbare Größe der Partikel ändern und Grenzen verwischt oder verlegt werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, hier zunächst keine Veränderungen vorzunehmen. Für spätere Einstellung kann jederzeit zu diesem Fenster zurückgekehrt werden [Abb. 3.15].

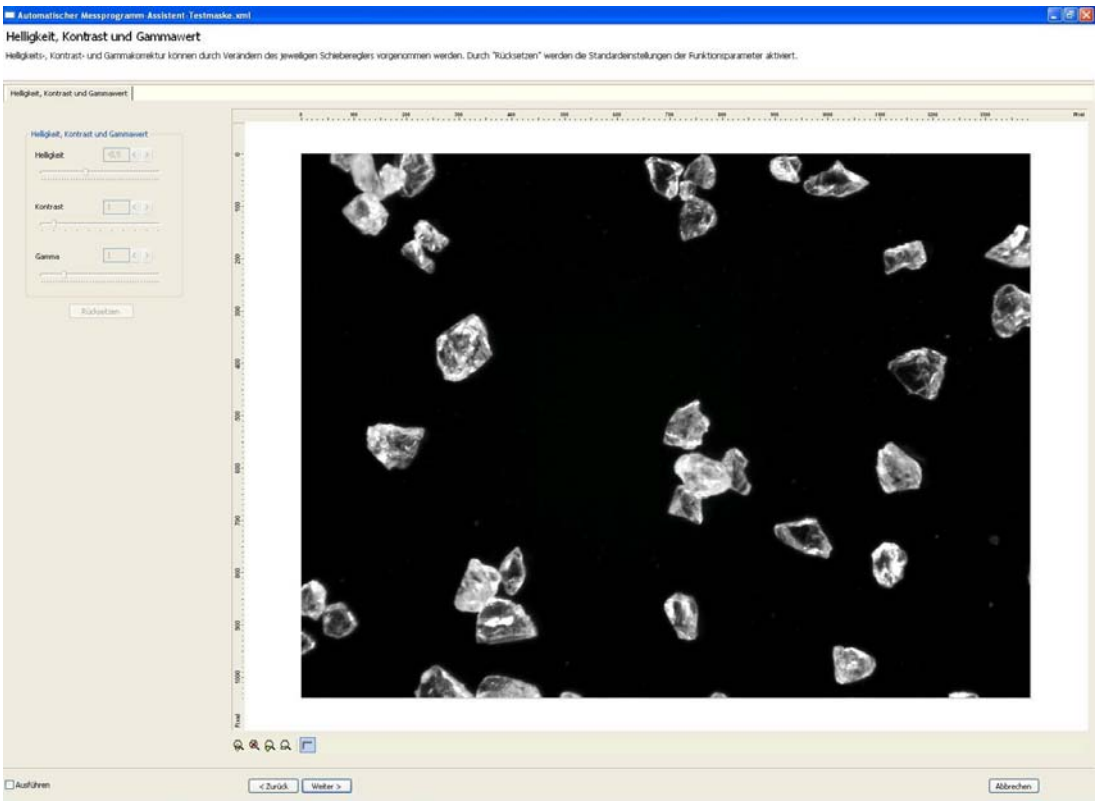


Abb. 3.15: Konfigurationsabschnitt – Helligkeit, Kontrast und Gammawert

[weiter]

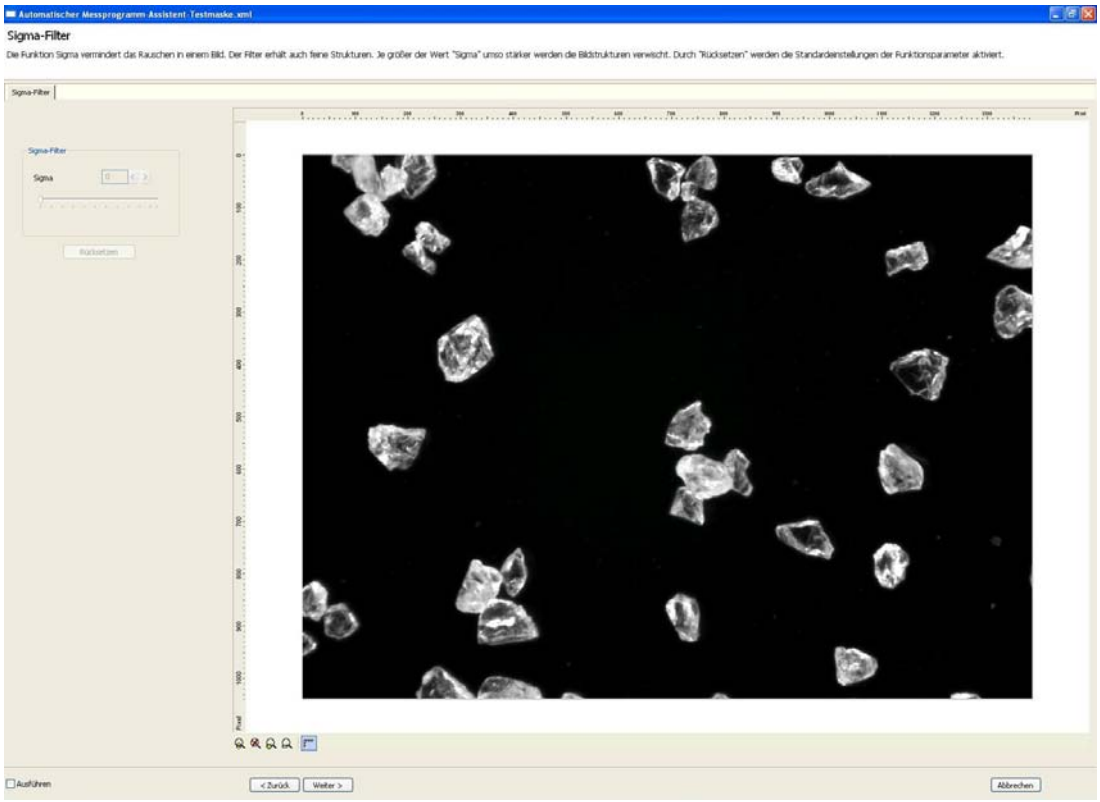

Automatischer Messprogramm-Assistent-Testmaske.xml
Sigma-Filter
Die Funktion Sigma vermindert das Rauschen in einem Bild. Der Filter erhält auch feine Strukturen. Je größer der Wert "Sigma" umso stärker werden die Bildstrukturen verwischt. Durch "Rücksetzen" werden die Standardeinstellungen der Funktionsparameter aktiviert.
Sigma-Filter
Sigma
Rücksetzen
Ausführen
< Zurück
Weiter >
Abbrechen

Abb. 3.16: Konfigurationsabschnitt – Sigma Filter

Mit Hilfe des Sigma-Filter soll das Rauschen eines Bildes vermindert werden. Da die Bilder der AxioCam aber kein sichtbares Rauschen, aufweisen und eine Sigma-Korrektur das Bild verwischen würde, sollte auch diese Funktion zunächst nicht ausgeführt werden [Abb. 3.16].

[weiter]

Durch die guten Beleuchtungsverhältnisse im Objektraum weisen die gelieferten Bilder einen sehr gleichmäßigen Helligkeitsverlauf auf. Eine Shading-Korrektur ist in der Regel nicht nötig [Abb. 3.17].

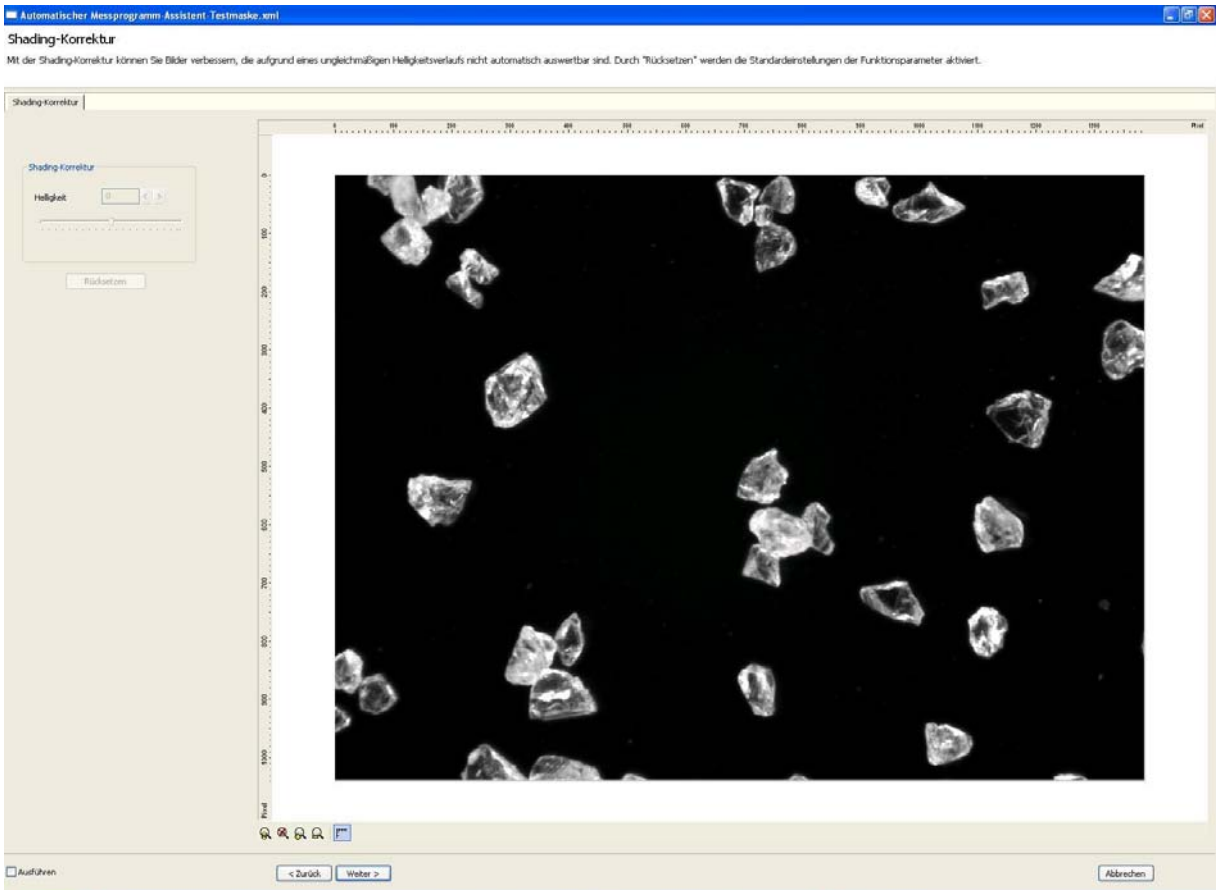

Automatischer Messprogramm-Assistent-Testmaske.xml
Shading-Korrektur
Mit der Shading-Korrektur können Sie Bilder verbessern, die aufgrund eines ungleichmäßigen Helligkeitsverlaufs nicht automatisch auswertbar sind. Durch "Rücksetzen" werden die Standardeinstellungen der Funktionsparameter aktiviert.
Shading-Korrektur
Helligkeit
Rücksetzen
Ausführen
< Zurück
Weiter >
Abbrechen

Abb. 3.17: Konfigurationsabschnitt – Shading Korrektur

[weiter]

Die Kantenverbesserung ist die gravierendste Veränderung des digitalen Bildes und sollte nur mit äußerster Vorsicht angewendet werden.
Das Programm vergleicht nach einem Algorithmus benachbarte Pixel des Bildes. Unterscheiden sich zwei benachbarte Pixel sehr stark in ihrem Grauwert, wird hier eine Kante vermutet. Das Programm verlegt so die wahren Kanten der Partikel und beeinflusst das Analyseergebnis stark. Da die verwendeten Algorithmen keine Garantie liefern, dass eine

wahre Kante festgelegt wird und die gelieferten Bilder sehr gute Abgrenzungen der einzelnen Partikel aufweisen, sollte auf eine Kantenverbesserung verzichtet werden [Abb. 3.18].

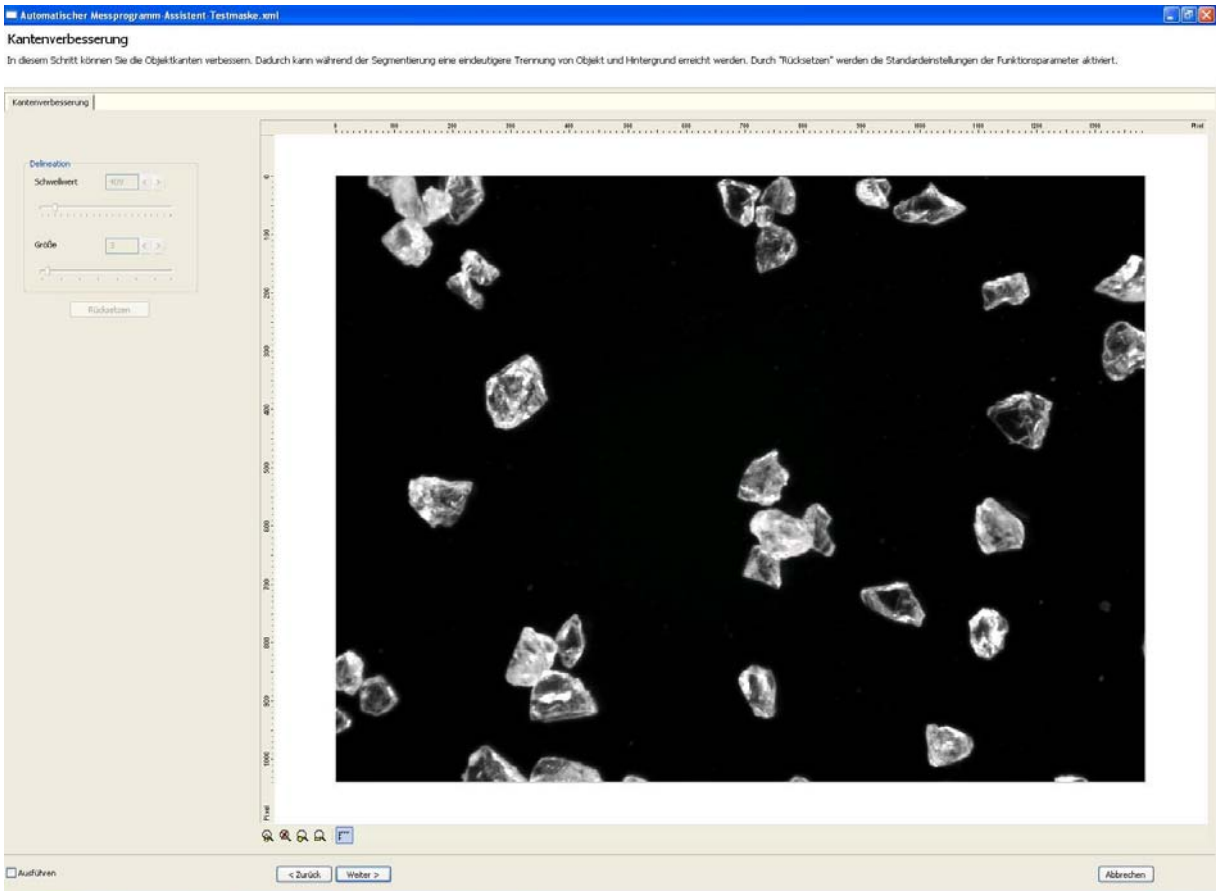

Automatischer Messprogramm-Assistent-Testmaske.xml
Kantenverbesserung
In diesem Schritt können Sie die Objektkanten verbessern. Dadurch kann während der Segmentierung eine eindeutigere Trennung von Objekt und Hintergrund erreicht werden. Durch "Rücksetzen" werden die Standardeinstellungen der Funktionsparameter aktiviert.
Kantenverbesserung
Delineation
Schwellwert
Größe
Rücksetzen
Ausführen
< Zurück
Weiter >
Abbrechen

Abb. 3.18: Konfigurationsabschnitt - Kantenverbesserung

[weiter]

Im Menü Segmentierung werden die zu analysierenden Partikel ausgewählt. Mit dem Mauszeiger müssen die erkennbaren Flächen der Partikel angeklickt werden. Das Programm ermittelt den Grauwert des gewählten Pixel und färbt alle Flächen mit gleichem Grauwert rot. Alle im Bild rot markierten Flächen werden vom Programm als auszuwertendes Objekt registriert. In Einzelfällen können kleine Grauwertflächen nicht genau markiert werden. Hier kann in der Option „Erweitert“ zusätzlich der ausgewählte Bereich manuell beliebig verändert werden.
Jedes Einstellungsmenü besitzt eine Funktion (Aufruf über Button „Rücksetzen“), um die Veränderung auf die Anfangswerte zurückzusetzen. Verändert man die Einstellungen eines Bildes, wird die Schaltfläche „Ausführen“ am linken unteren Bildrand aktiviert. Der Haken weißt darauf hin, dass auf jedes Bild die vorgenommenen Einstellungen angewendet werden.

Aktiviert man zusätzlich noch die Schaltfläche „Interaktiv“, wird das automatische Auswerteprogramm bei jedem Bild an dieser Stelle gestoppt, um gegebenenfalls zusätzliche Veränderungen auszuführen.
Diese Funktion ist durchaus hilfreich, jedoch bringt das Betrachten der einzelnen Bilder einen hohen Zeitaufwand mit sich [Abb. 3.19].

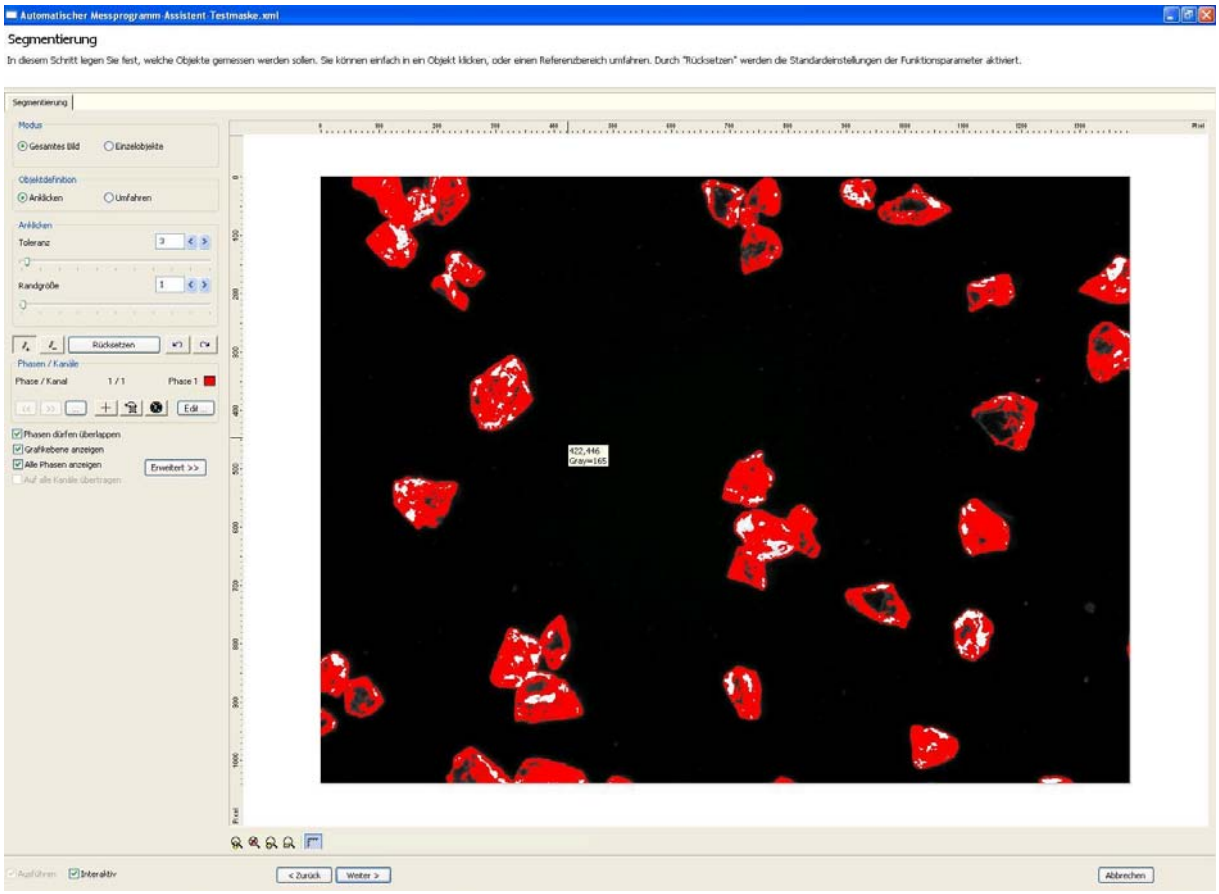


Abb. 3.19: Konfigurationsabschnitt – Segmentierung

[weiter]

Im Menü Artefakte und Löcher kann ein Größenbereich für Partikel, die nicht in die Auswertung einbezogen werden sollen, festgelegt werden. Außerdem können vorhandene Löcher in den einzelnen Partikeln gefüllt werden.
Der Größenbereich der nicht einzubeziehenden Partikel kann mit den Schiebereglern für die obere und untere Grenze festgelegt werden.
Im Bild rechts werden alle Änderungen sofort ausgeführt. Die Funktion dient dazu, eine Verfälschung der Ergebnisse durch Staub oder einen ungewollten Feinanteil zu vermeiden [Abb. 3.20].

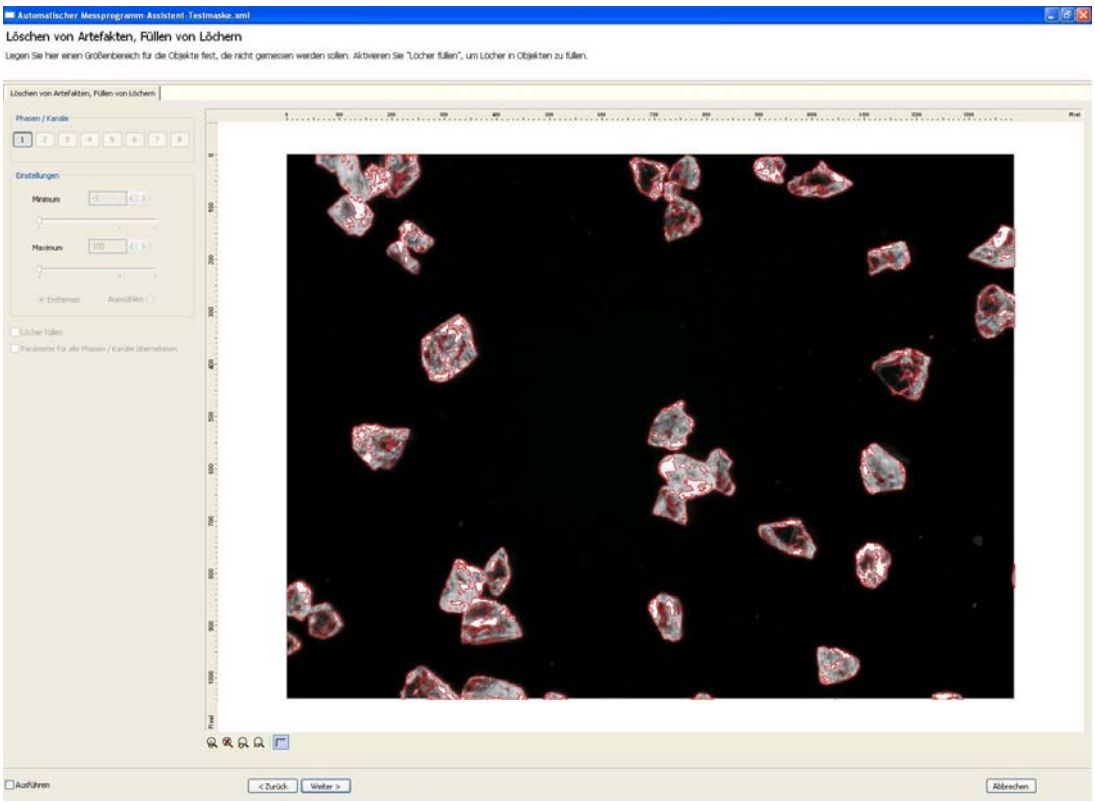

Automatischer Messprogramm Assistent-Testmaske.xml
Löschen von Artefakten, Füllen von Löchern
Legen Sie hier einen Größenbereich für die Objekte fest, die nicht gemessen werden sollen. Aktivieren Sie "Löcher füllen", um Löcher in Objekten zu füllen.
Löschen von Artefakten, Füllen von Löchern
Phasen / Kanäle
Einstellungen
Minimum
Maximum
Entfernen
Auswählen
Löcher füllen
Parameter für alle Phasen / Kanäle übernehmen
Ausführen
< Zurück
Weiter >
Abbrechen

Abb. 3.20: Konfigurationsabschnitt – Löschen von Artefakten

[weiter]

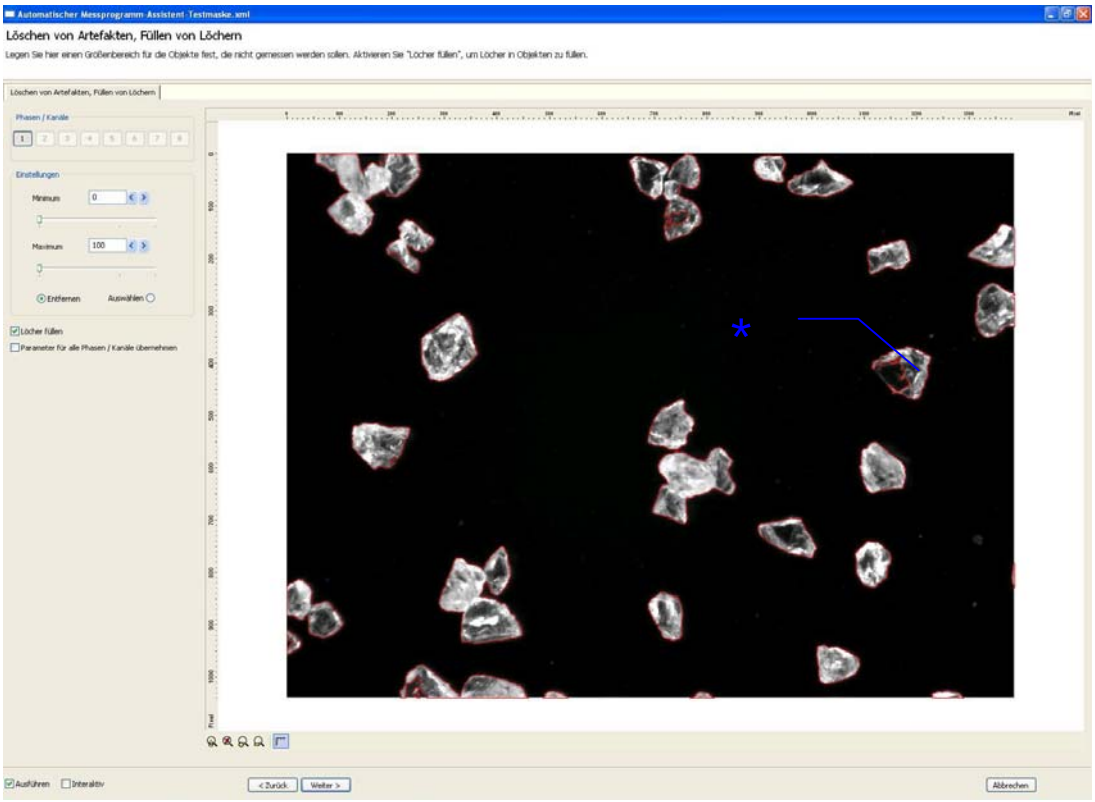


Abb. 3.21: Konfigurationsabschnitt – Füllen von Löchern

Die Funktion „Löcher füllen“ detektiert umschlossene, nicht ausgewählte Bereiche und schließt sie zu einem Gesamtobjekt zusammen. Diese Funktion ist nützlich, da durch Spiegelungseffekte Partikelstellen oft sehr dunkel erscheinen und einen ähnlichen Grauwert wie die Umgebung haben. Diese Stellen können bei der Segmentierung nicht einzeln angeklickt werden, da sonst die Umgebung mit gleichem Grauwert ebenfalls ausgewählt würde [Abb. 3.21].

[weiter]

In Abbildung 3.21 sieht man im rechten Abschnitt ein Partikel (*), das auch nach der Funktion „Löcher füllen“ nicht komplett erfasst wurde. Offenbar wurde der Grauwert der sichtbaren linken Grenze nicht ausgewählt. Hier bietet es sich an, mit dem Button „zurück“ in das Segmentierungs-Menü zurückzukehren und die Auswahl zu vervollständigen.
Nach der Korrektur wird auch dieses Partikel vollständig erkannt [Abb. 3.22].

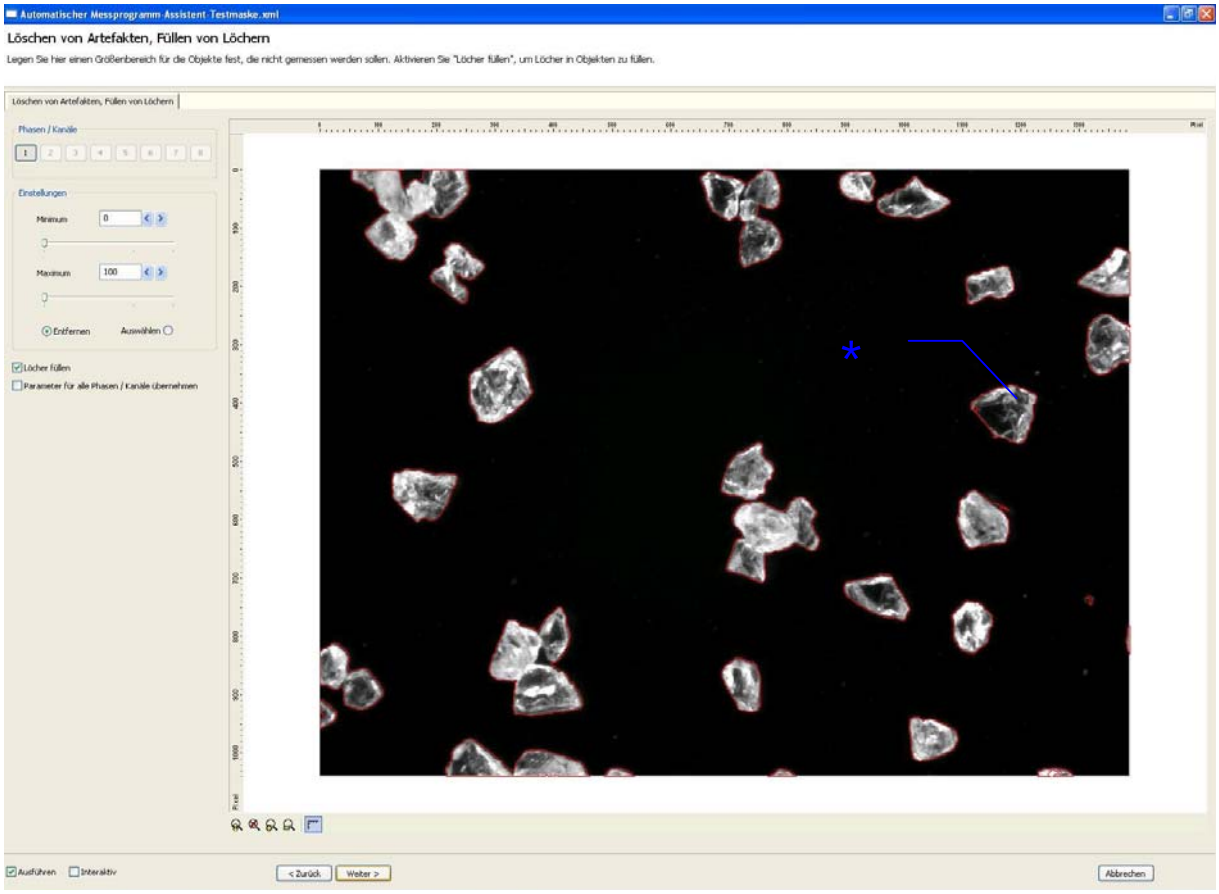


Abb. 3.22: Konfigurationsabschnitt – Füllen von Löchern nach Korrektur

[weiter]

Bei den aufgenommenen Bildern lässt es sich oft nicht vermeiden, dass die Abgrenzungen einzelner Partikel nicht klar von benachbarten Objekten getrennt sind.
Mit der Funktion „Wasserscheiden“ bietet das Programm eine Möglichkeit, diese Kanten zu detektieren und die Partikel somit zu trennen, um sie einzeln analysieren zu können.
Wichtig bei dieser Funktion ist die Einstellung der Toleranz, da bei zu geringer Toleranz oft auch einzelne Partikel geteilt werden.
Grundsätzlich ist es mit dem menschlichen Auge und auch mit der Software meist schwer, eine genaue Trennung zwischen aneinander grenzenden Partikeln zu bestimmen. Die Anwendung der Funktion sollte daher gründlich überwacht werden [Abb. 3.23].

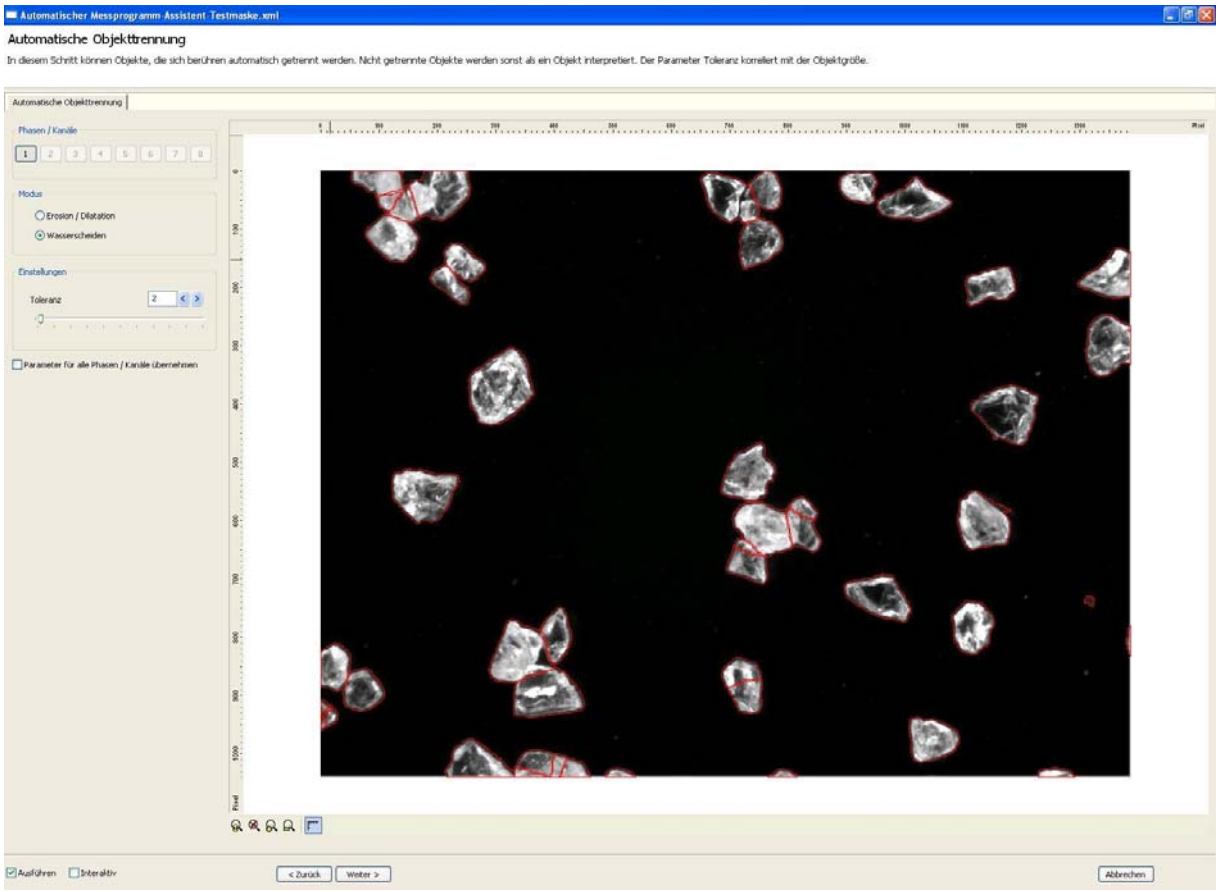


Abb. 3.23: Konfigurationsabschnitt – Automatische Objekttrennung

[weiter]

Noch einmal können bei Bedarf neu entstandene Artefakte gelöscht oder Löcher gefüllt werden [Abb. 3.24].

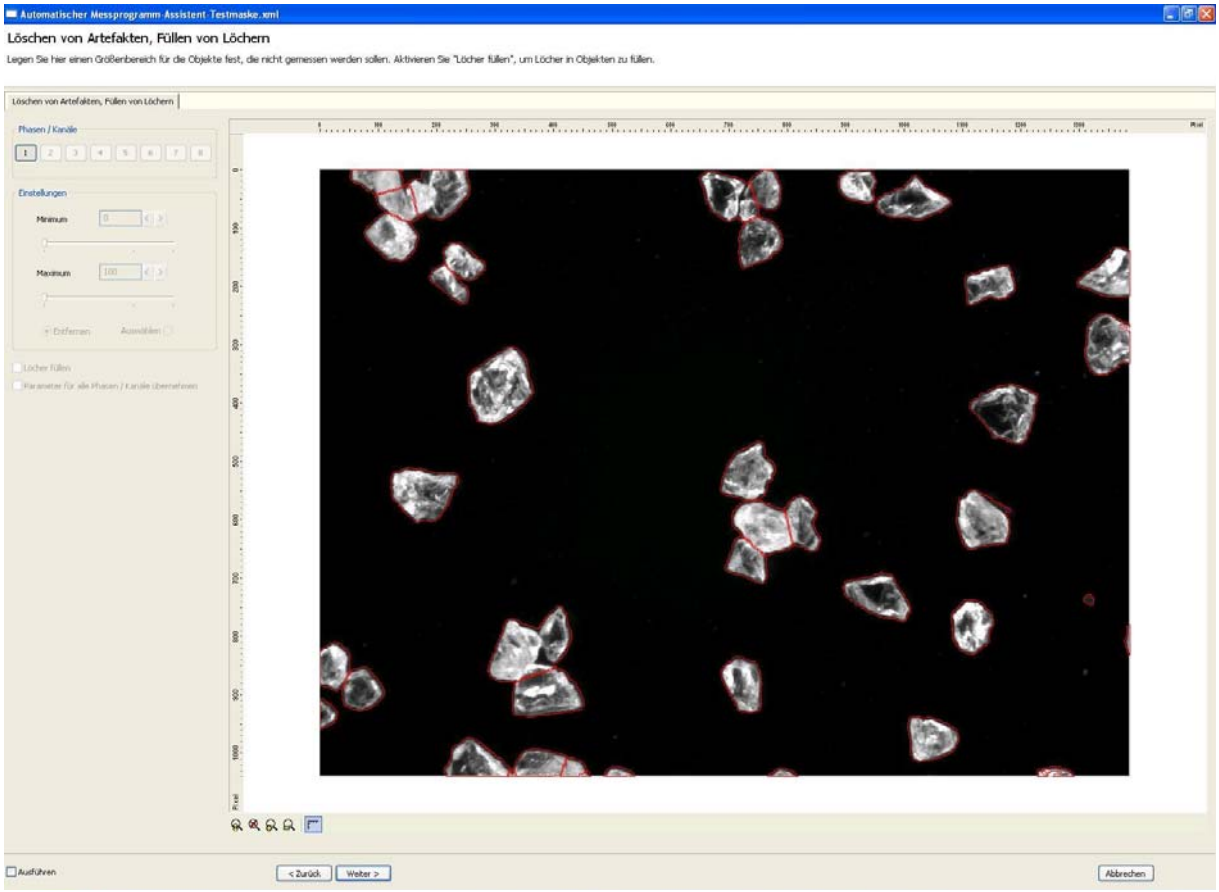

Automatischer Messprogramm-Assistent-Testmaske.xml
Löschen von Artefakten, Füllen von Löchern
Legen Sie hier einen Größenbereich für die Objekte fest, die nicht gemessen werden sollen. Aktivieren Sie "Löcher füllen", um Löcher in Objekten zu füllen.
Löschen von Artefakten, Füllen von Löchern
Phasen / Kanäle
Einstellungen
Minimum
Maximum
Löcher füllen
Ausführen
< Zurück
Weiter >
Abbrechen

Abb. 3.24: Konfigurationsabschnitt – Löschen von Artefakten, Füllen von Löchern II

[weiter]

Das Einstellungsmenü „Interaktive Korrektur der Messmaske“ ermöglicht das manuelle Auswählen und Löschen einzelner Partikel sowie das Einzeichnen von Trennlinien. Grundsätzlich ist es mit dem menschlichen Auge meist schwer, eine genaue Trennung zwischen aneinander grenzenden Partikeln zu bestimmen. Die Anwendung der Funktion sollte daher gründlich überwacht werden. Außerdem bedeutet es einen großen Zeitaufwand, jedes Bild manuell nach zu bearbeiten [Abb. 3.25].

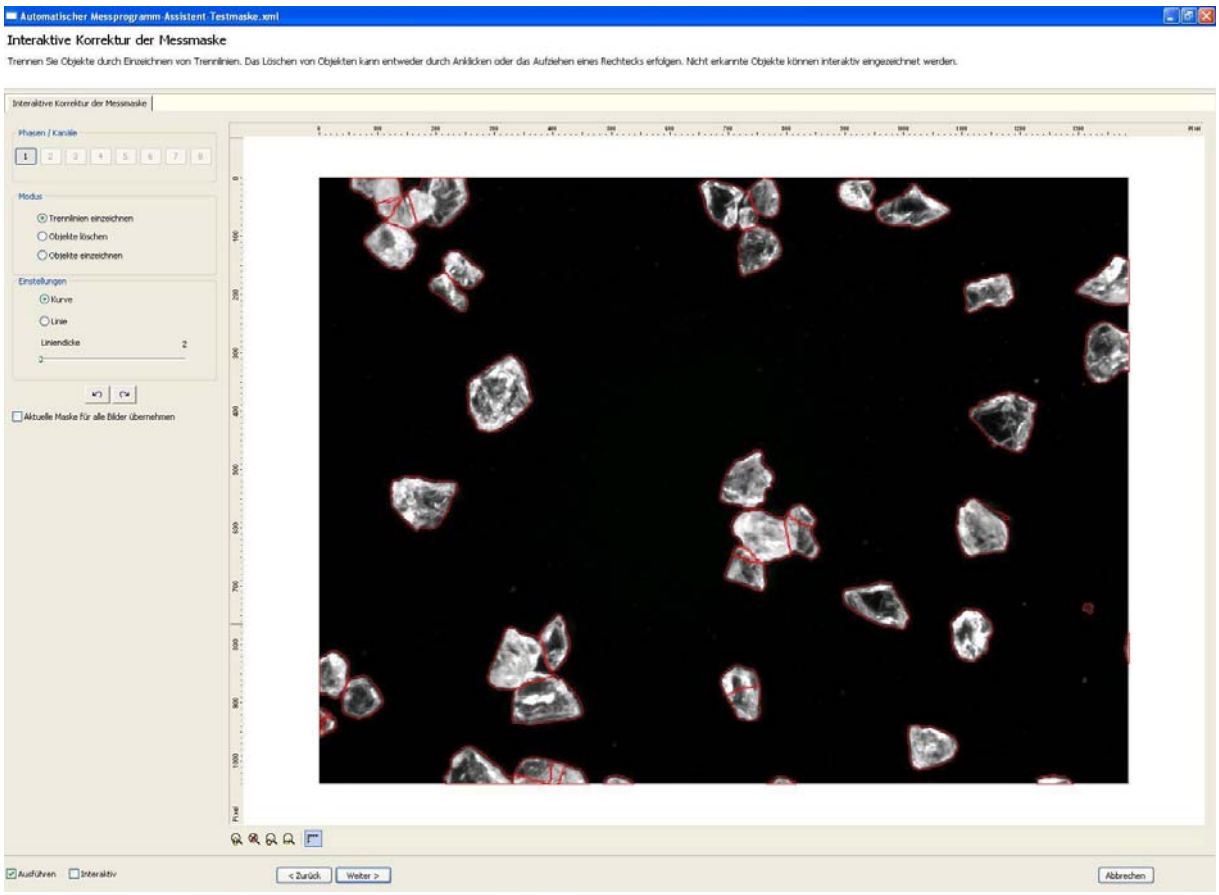


Abb. 3.25: Konfigurationsabschnitt – Interaktive Korrektur der Messmaske

[weiter]

Im folgenden Menü können aus einer Liste die Parameter und deren Reihenfolge ausgewählt werden, die für jedes Einzelobjekt in der Auswertungsdatei gelistet werden sollen.
Um jedes Partikel später schnell im jeweiligen Bild zu finden, empfiehlt es sich, in jedem Fall den Bildnamen sowie die Kennzahl (ID) der einzelnen Partikel auszuwählen.
Im Beschreibungs-Menü gibt das Programm eine kurze Erläuterung zur ausgewählten Funktion an [Abb. 3.26].

Axio Vision ermöglicht ebenfalls eine Auswertung des Gesamtbildes. Analog zur Einzelauswahl können hier die Parameter bestimmt werden [Abb. 3.27].

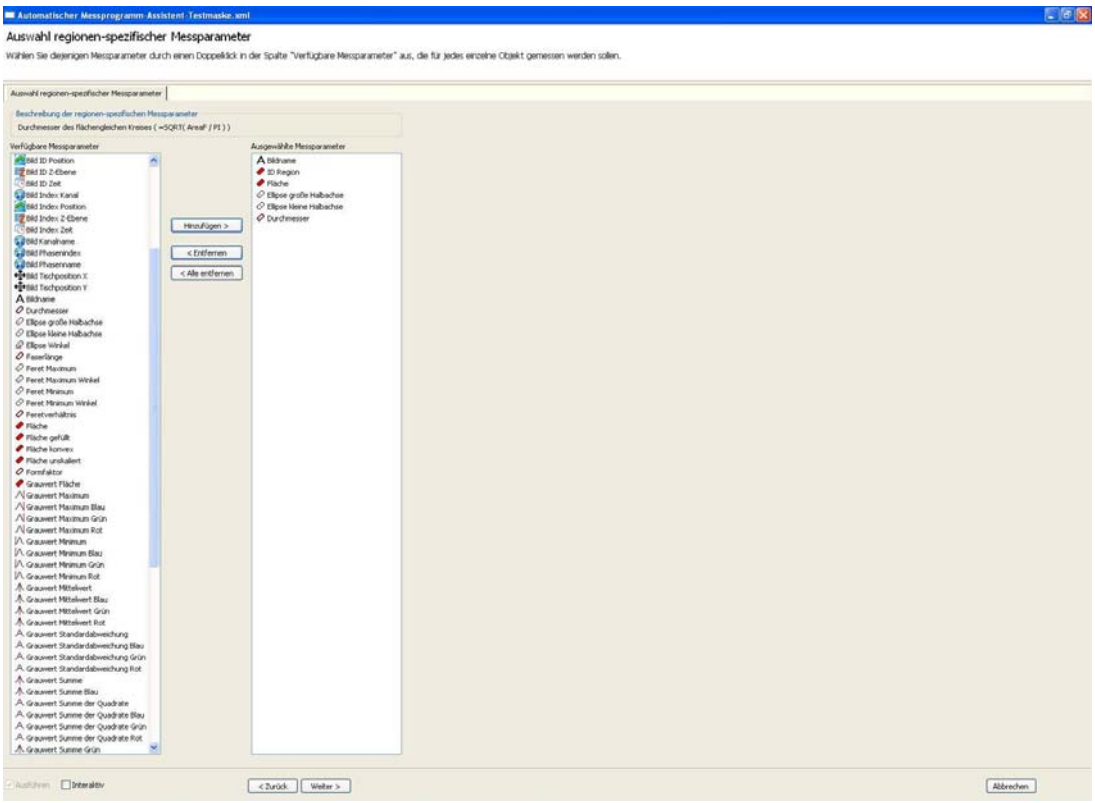


Abb. 3.26: Konfigurationsabschnitt – Auswahl regionen-spezifischer Messparameter

[weiter]

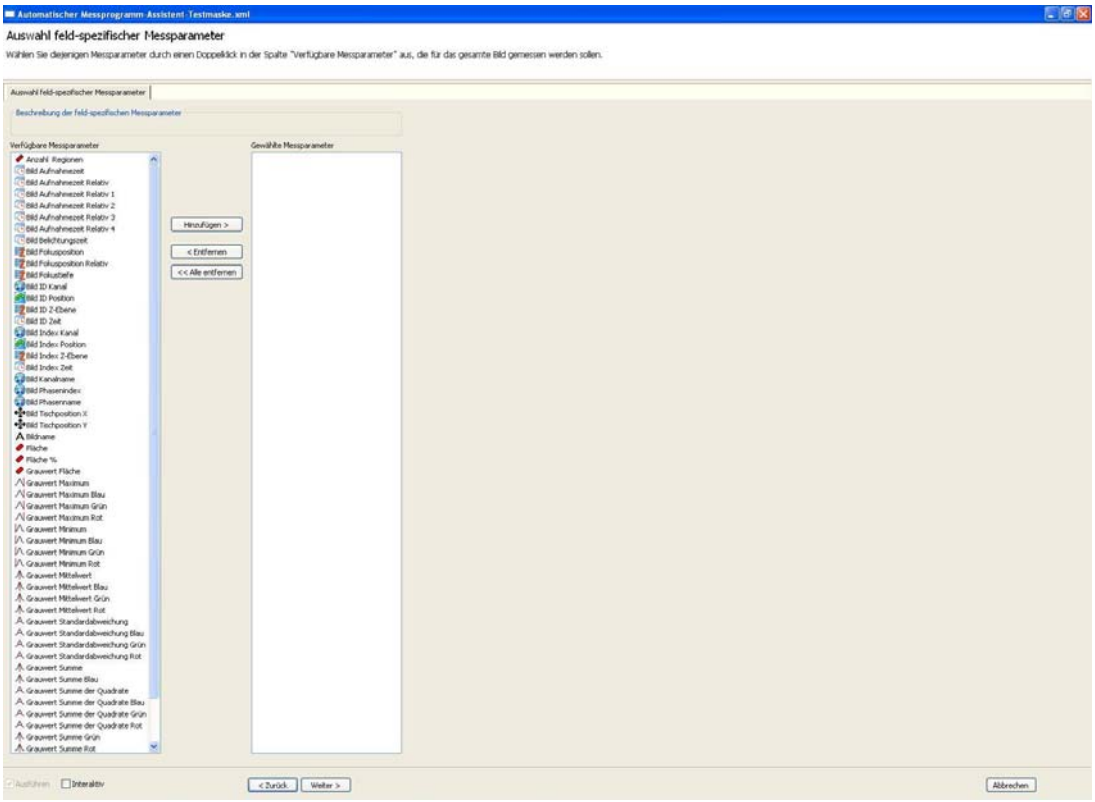

Automatischer Messprogramm Assistent-Testmaske.xml
Auswahl feld-spezifischer Messparameter
Wählen Sie diejenigen Messparameter durch einen Doppelklick in der Spalte "Verfügbare Messparameter" aus, die für das gesamte Bild gemessen werden sollen.
Auswahl feld-spezifischer Messparameter
Beschreibung der feld-spezifischen Messparameter
Verfügbare Messparameter
Gewählte Messparameter
Hinzufügen >
< Entfernen
<< Alle entfernen
< Zurück
Weiter >
Abbrechen

Abb. 3.27: Konfigurationsabschnitt – Auswahl feld-spezifischer Messparameter

[weiter]

In diesem Menü können die Annotationen ausgewählt werden, die vom Programm im Ausgabebild eingezeichnet werden sollen.
Da sich oft sehr viele Partikel in einem Bild befinden, sollten möglichst wenig Angaben ausgewählt werden. Es reicht aus, die Partikelkennzahl (ID) und die Kontur der Partikel einzeichnen zu lassen, da der Bezug zu den weiteren Parametern über die ID gegeben ist [Abb. 3.28].

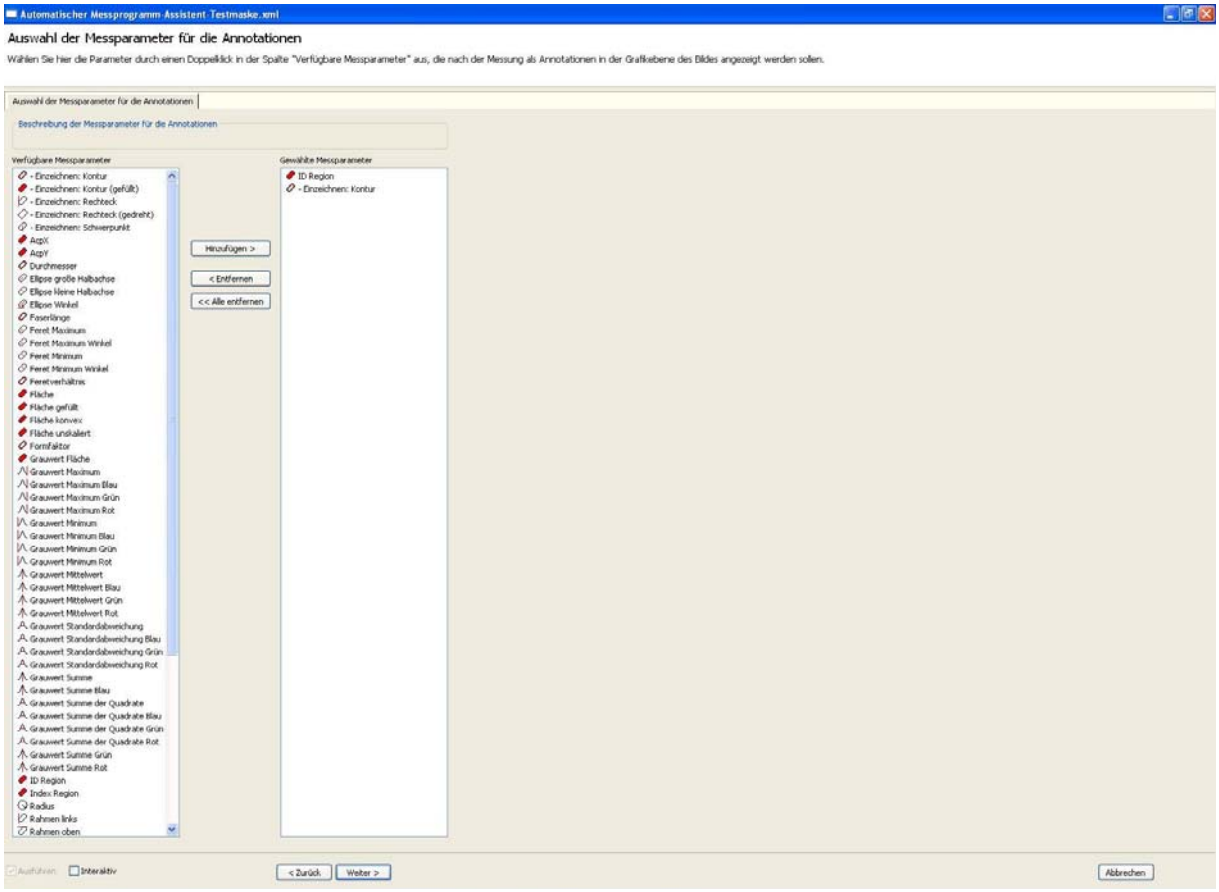

Automatischer Messprogramm-Assistent-Testmaske.xml
Auswahl der Messparameter für die Annotationen
Wählen Sie hier die Parameter durch einen Doppelklick in der Spalte "Verfügbare Messparameter" aus, die nach der Messung als Annotationen in der Grafikebene des Bildes angezeigt werden sollen.
Auswahl der Messparameter für die Annotationen
Beschreibung der Messparameter für die Annotationen
Verfügbare Messparameter
Gewählte Messparameter
ID Region
- Einzeichnen: Kontur
Hinzufügen >
< Entfernen
<< Alle entfernen
Interaktiv
< Zurück
Weiter >
Abbrechen

Abb. 3.28: Konfigurationsabschnitt – Auswahl der Messparameter für die Annotation

[weiter]

In der Maske können in diesem Menü besondere Messbedingungen erstellt werden. Für einzelne Auswertungsparameter können obere und untere Grenzen bestimmt werden. Die verfügbaren Parameter können aus der Liste ausgewählt und der Bereich in die entsprechend gekennzeichneten Textfelder eingegeben werden.
Zur Kontrolle umrandet das Programm alle in die Auswertung einbezogenen Partikel grün, die ausgeschlossenen Objekte dagegen rot [Abb. 3.29].

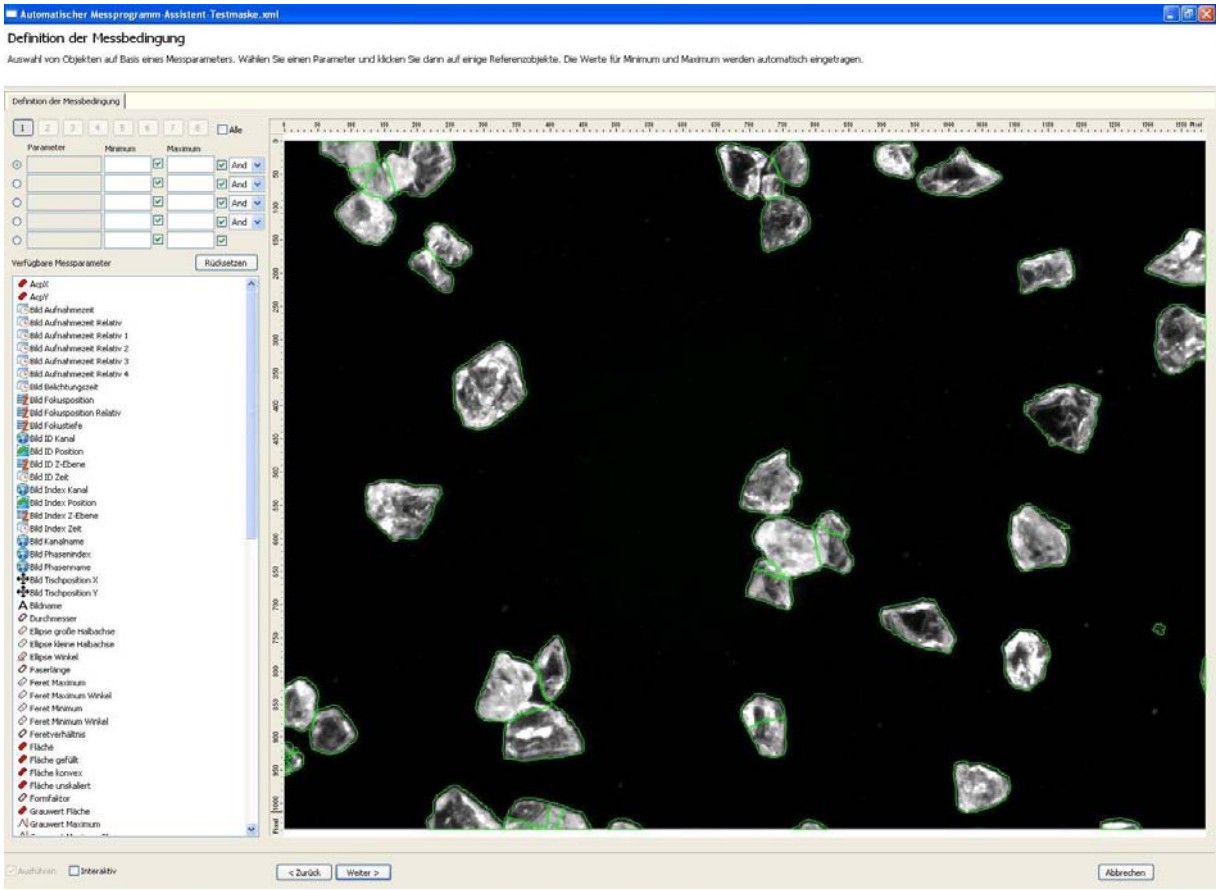


Abb. 3.29: Konfigurationsabschnitt – Definition der Messbedingung

[weiter]

Mit dem Messrahmen wird der für die Auswertung festgelegte Bereich definiert. Es besteht die Möglichkeit, verschiedene Rahmen mit unterschiedlichen Randbedingungen auszuwählen, sowie deren Größe und Position festzulegen. Mit der Anwendung des Messrahmens ist es möglich, Partikel, die nur zum Teil auf dem Bild erfasst wurden und somit über die Bildgrenzen hinausgehen, von der Auswertung auszuschließen. Für die Partikelanalyse bietet sich der rechteckige Rahmen mit Ausschlusskriterium an allen vier Seiten (*) an. Der Rahmen kann mit dem Kontrollkästchen „Rahmen maximieren“ auf die Bildgröße maximiert werden [Abb. 3.30].

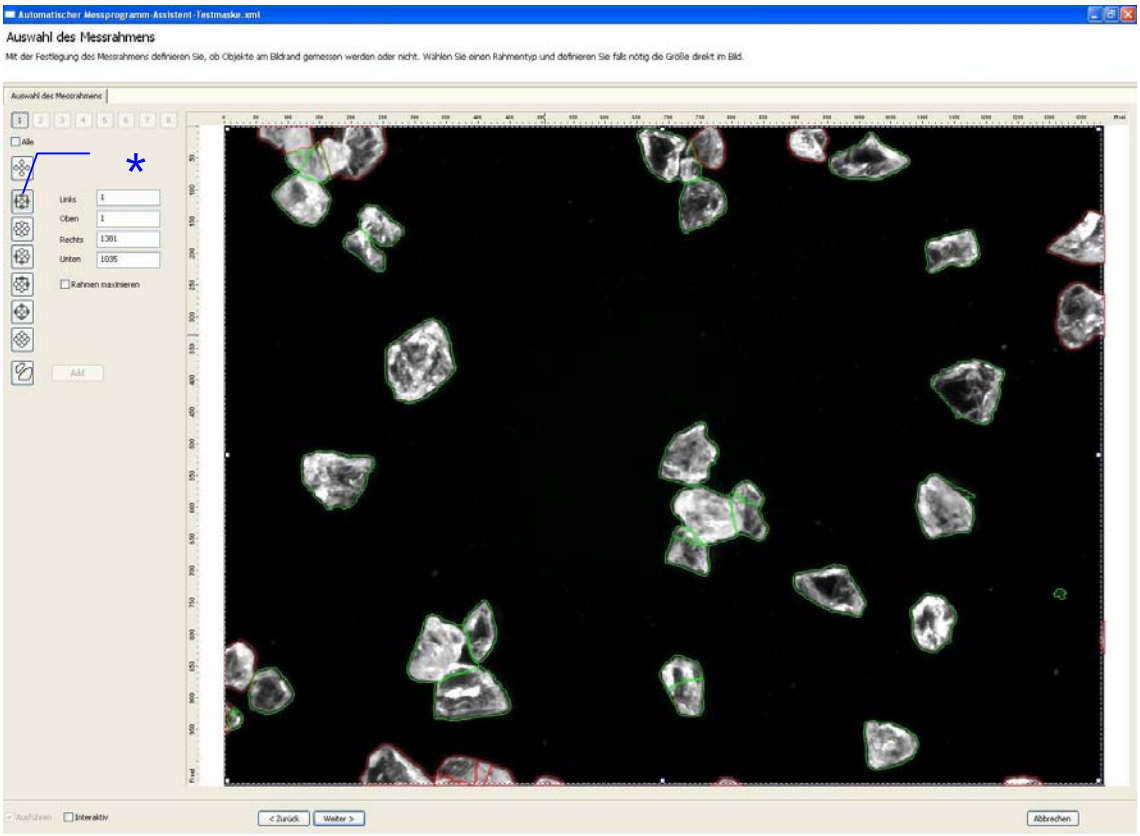


Abb. 3.30: Konfigurationsabschnitt – Auswahl des Messrahmens

[weiter]

Im letzten Menüfenster des Maskenassistenten wird das Gesamtergebnis, das die Software beim vorliegenden Bild ausgewertet hat, angezeigt. Es besteht durch Anklicken die Möglichkeit, einzelne Partikel nochmals auszuwählen oder von der Auswertung auszuschließen.
In der Liste links werden die ermittelten Parameter der Objekte dargestellt, die Kontur des jeweils ausgewählten Partikel wird im Bild blau dargestellt [Abb. 3.31].

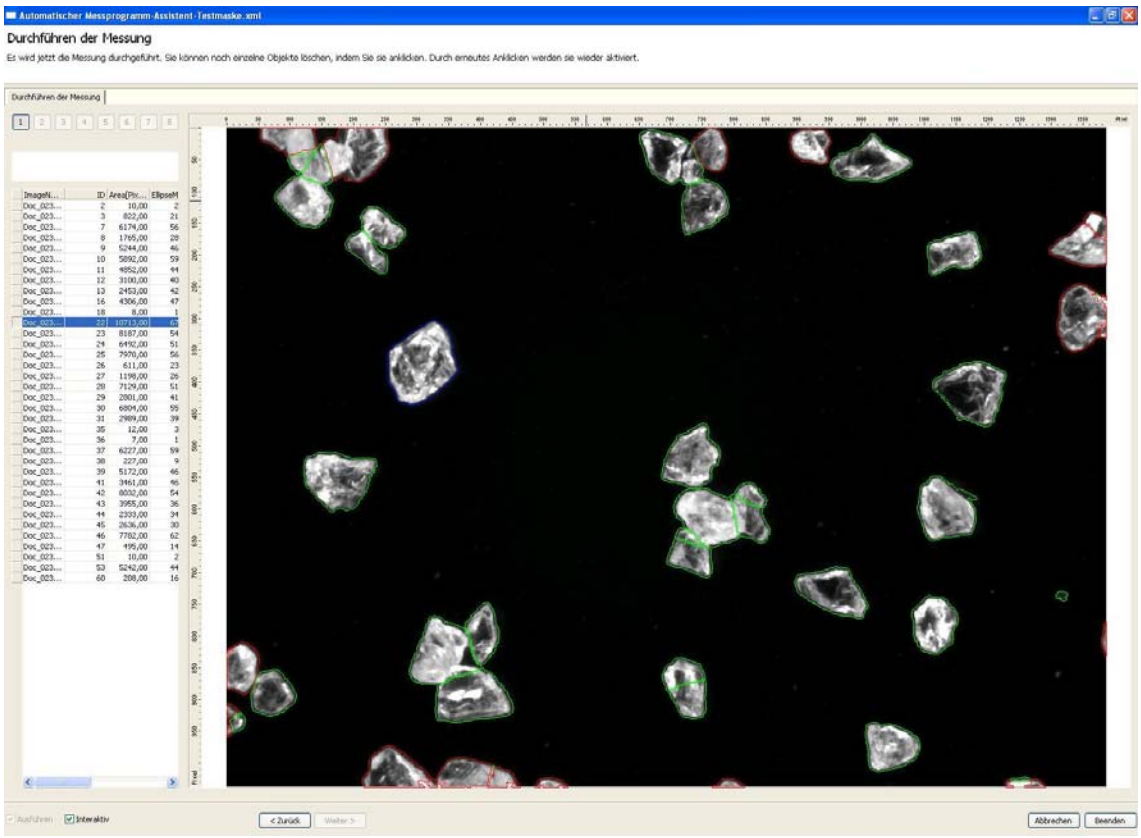

Automatischer Messprogramm-Assistent - Testmaske.xml
Durchführen der Messung
Es wird jetzt die Messung durchgeführt. Sie können noch einzelne Objekte löschen, indem Sie sie anklicken. Durch erneutes Anklicken werden sie wieder aktiviert.
Durchführen der Messung
Interaktiv
< Zurück
Weiter >
Abbrechen
Beenden

Abb. 3.31: Konfigurationsabschnitt – Durchführen der Messung

[Beenden]

Nachdem der Assistent mit dem Button „Beenden“ geschlossen und gespeichert wurde, wird das Hauptprogramm angezeigt.
Im Bildmenü wird die Tabelle der ermittelten Parameter angezeigt [Abb. 3.31].

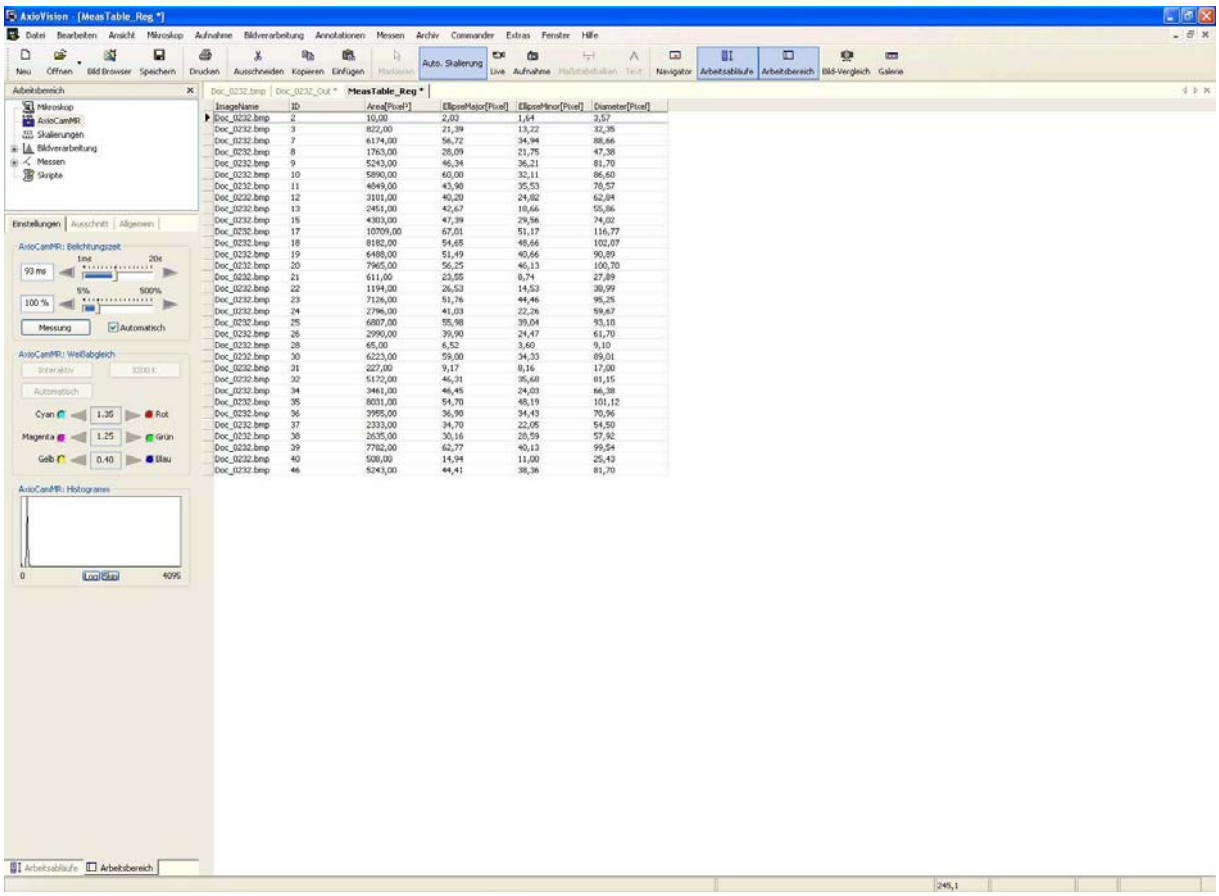


Abb. 3.32: Hauptprogramm mit Parametertabelle

[Auswahl Registerkarte]

Unter einer weiteren Registerkarte kann das Ausgabebild, gekennzeichnet durch die Dateiendung ..._Out.bmp , angezeigt werden. Die zuvor ausgewählten Parameter werden im Bild angezeigt [Abb. 3.32].

[Auswahl Registerkarte]

Die definierte Messmaske kann jetzt automatisch auf eine beliebige Anzahl von Bildern angewendet werden.
Dazu muss das Automatische Messprogramm im Menüpunkt
„Messen → Automatische Messprogramme → Ausführen“ gestartet werden [Abb. 3.33].

[Ausführen]

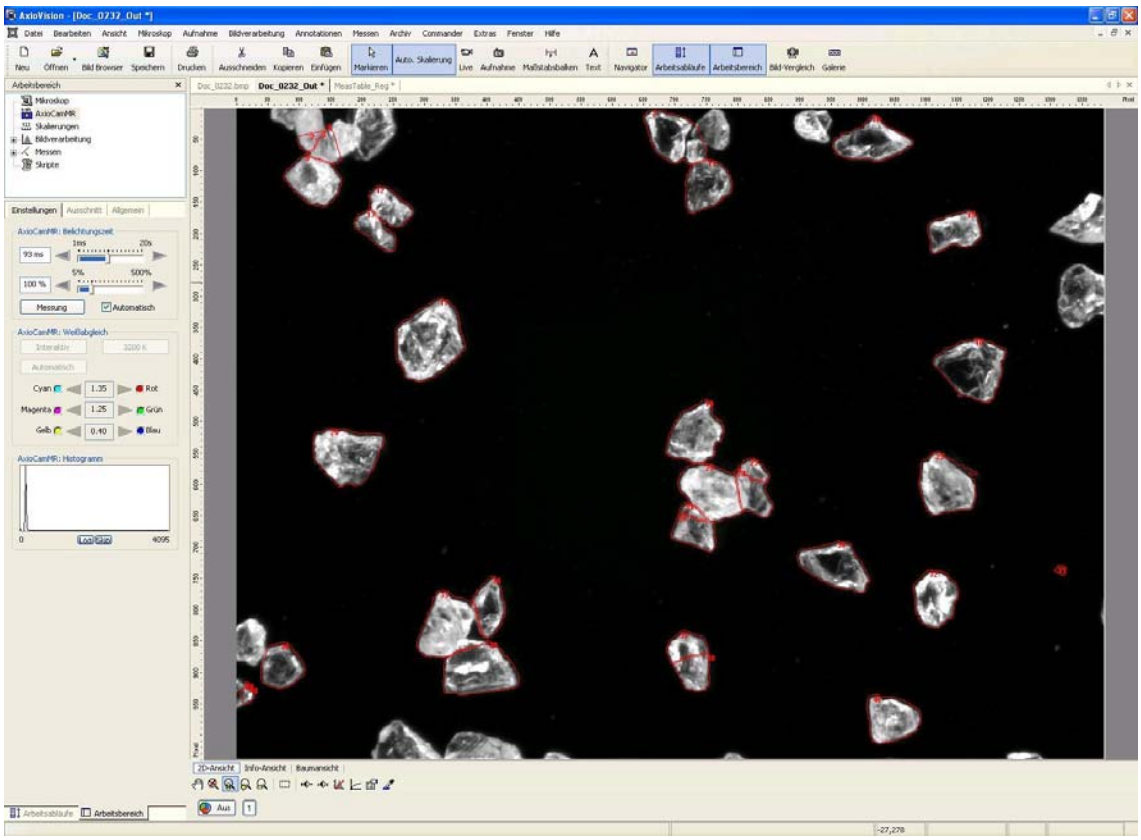


Abb. 3.33: Hauptprogramm mit Ausgabebild

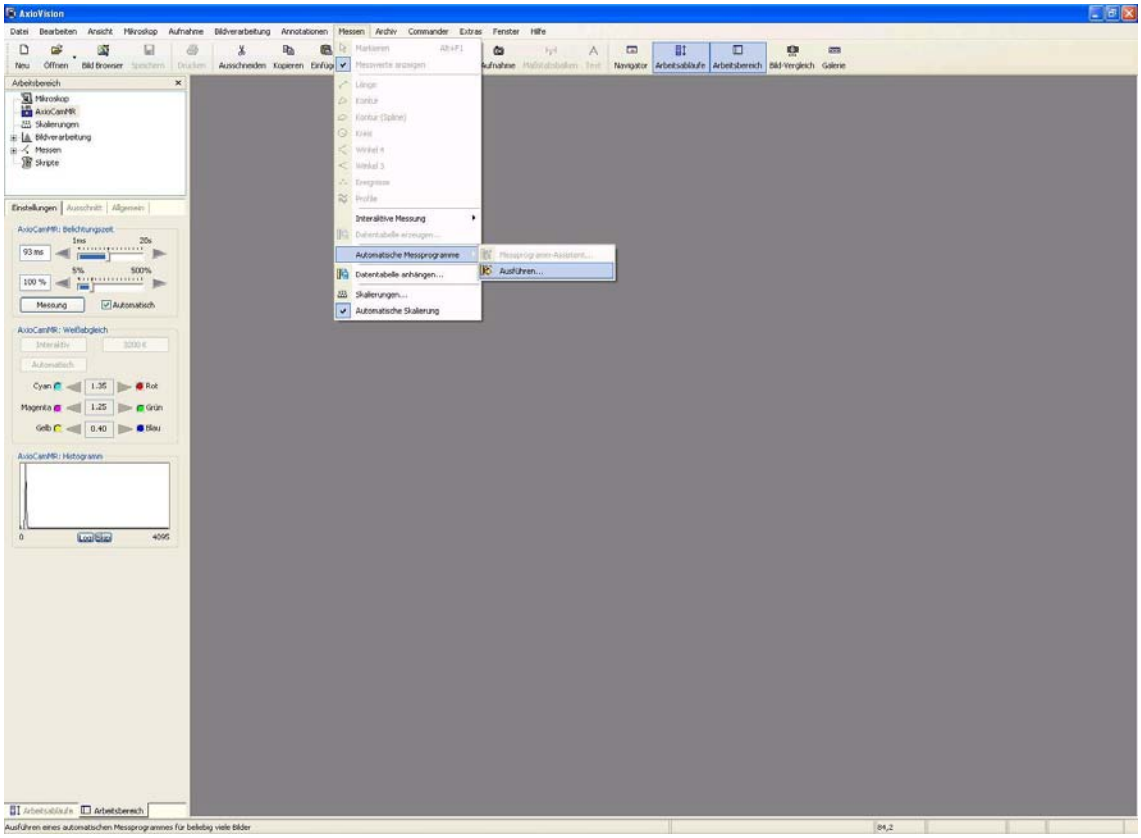


Abb. 3.34: Aufruf der automatischen Auswertung

Im folgenden Menü muss eine Messmaske sowie der Speicherort der auszuwertenden Bilder angegeben werden. Alle Bilder im ausgewählten Ordner werden im Menü angezeigt und können für die Analyse markiert werden. Weiterhin muss ein Speicherort und –name für die Messdatendatei sowie die zu verwendende Skalierung ausgewählt werden [Abb. 3.34].
Mit dem Button „Start“ beginnt das Programm die automatische Auswertung, es erscheint ein Fenster, in dem der Fortschritt verfolgt werden kann.

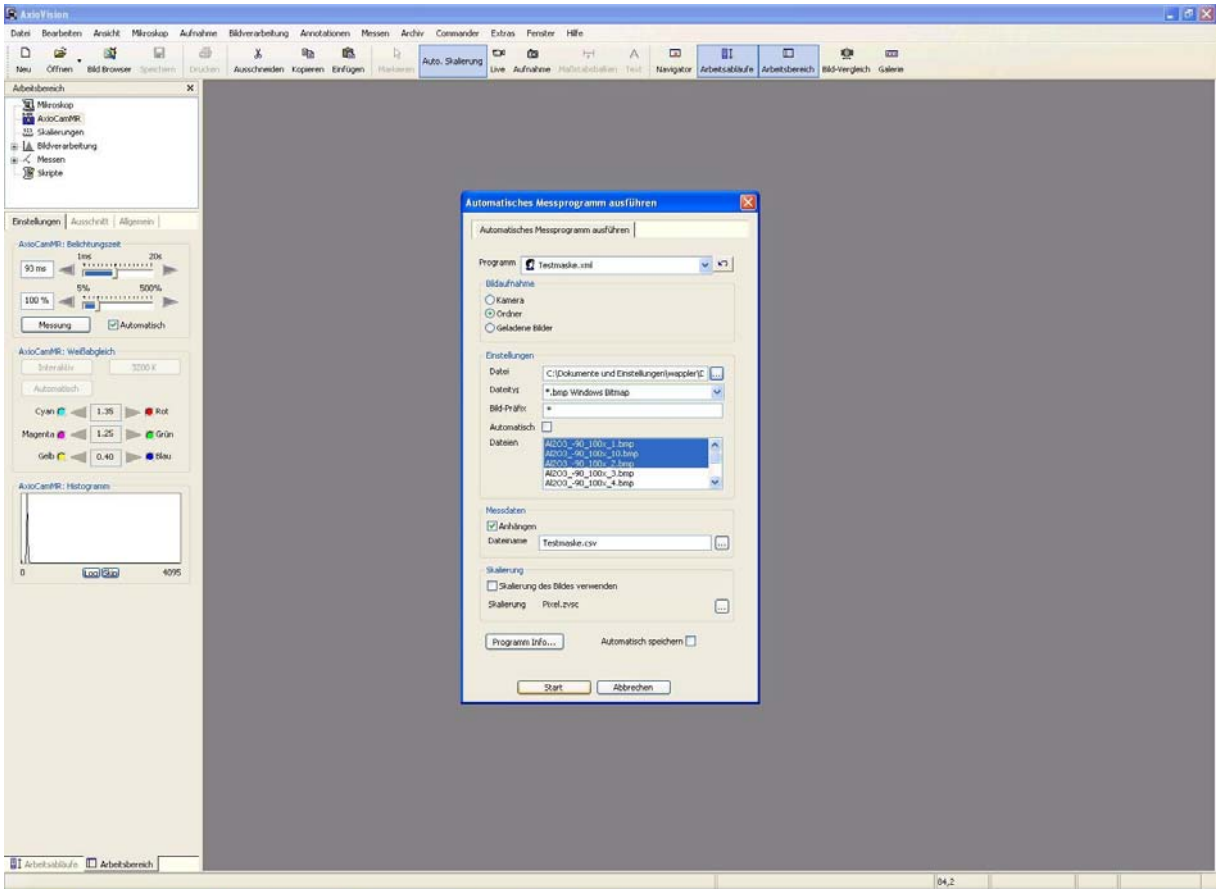


Abb. 3.35: Auswahlmenü für Speicherort und Messmaske

[Start]

Nachdem die Software alle Bilder ausgewertet hat, erscheint im Hauptmenü die Tabelle mit allen Messparametern der Analyse.
Die Ausgabebilder speichert das Programm im gleichen Ordner ab, in dem sich die ausgewerteten Originalbilder befinden [Abb. 3.35].

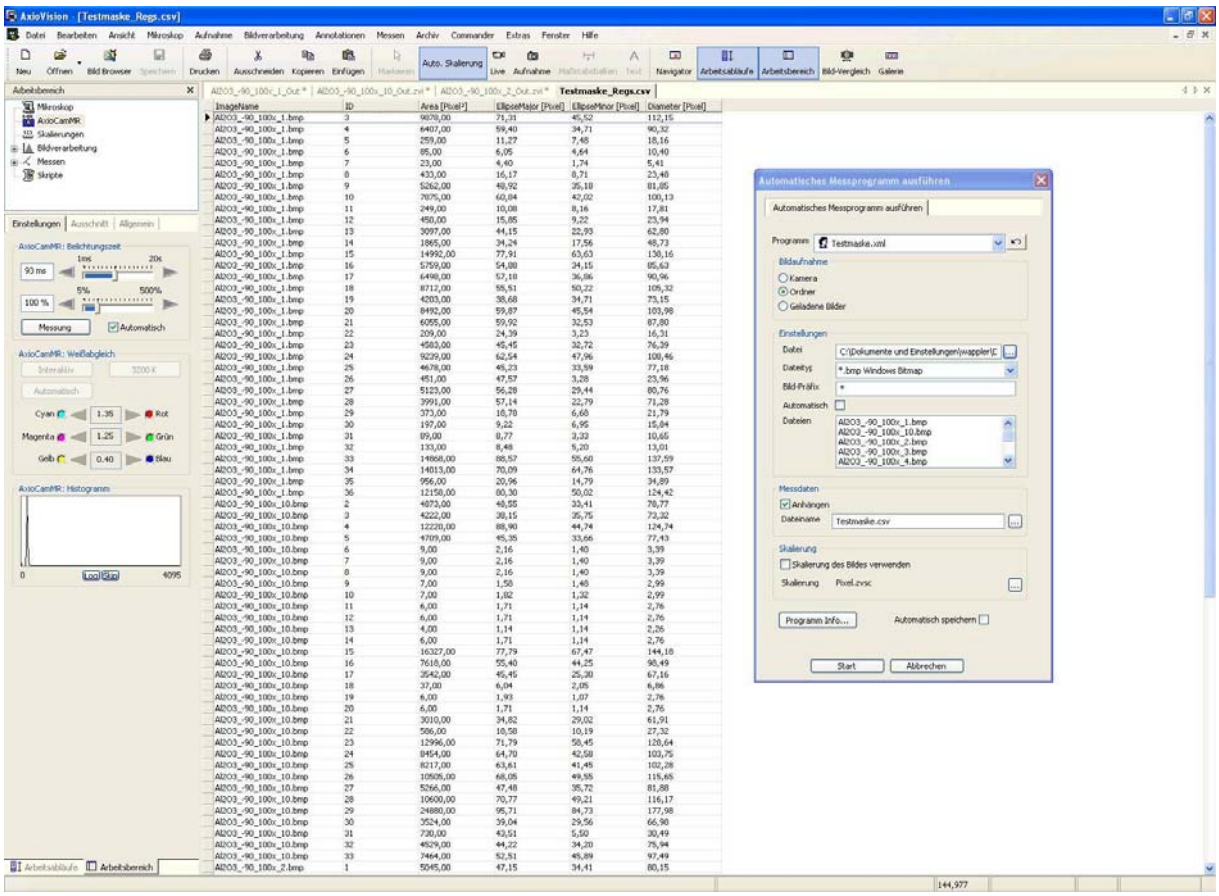


Abb. 3.36: Hauptmenü mit Tabelle der Messparameter

Damit ist die Auswertung beendet. Es können nun weitere Masken konfiguriert oder Auswertungen ausgeführt werden.
Axio Vision wird nach dem Ende der Arbeiten mit dem „X“ in der oberen rechten Ecke geschlossen. Eine Speicherbenachrichtigung vermeidet den Verlust von Bildern und Messergebnissen.

4. Archivierung und Darstellung der Ergebnisse

Für eine aussagekräftige Analyse der Spritzpulver ist es notwendig eine Vielzahl von einzelnen Partikeln zu untersuchen.
Erst durch die Analyse von vielen Bildern mit vielen Objekten wächst eine für das jeweilige Pulver repräsentative Größenverteilung auf.
Jedes der drei Analyseprogramme gibt die ermittelten Parameter in einer Ausgabedatei aus.
Um diese bei der Auswertung ermittelten Daten zu archivieren, bietet sich die Speicherung in einer Datenbank an, da so der schnelle Zugriff auf einen bestimmten Datensatz jederzeit möglich ist.
Die Verarbeitung der von den Programmen ausgegebenen Dateien und die Speicherung der Messparameter in einer Datenbank muss bei der großen Anzahl der Datensätze automatisch erfolgen.
Im Rahmen meiner Diplomarbeit entstand zu diesem Zweck ein Archivierungsprogramm - entwickelt in der Programmiersprache Delphi.
Das Programm liest die einzelnen Parameter aus den Ausgabedateien der Auswertungsprogramme aus und gibt dem Benutzer die Möglichkeit, den Datensatz mit verschiedenen Angaben zu charakterisieren.
Die Daten werden dann vom Programm in einer Microsoft Access Datenbank archiviert.

4.1. Arbeiten mit Microsoft Access

Access ist ein von der Firma Microsoft entwickeltes Programm, um Datensätze zu erstellen und diese in einer Datenbank zu verwalten.
Die Daten einer Datenbank werden in einer einzelnen Datei mit der Endung *.mdb gespeichert.
Mit Hilfe von auf ActiveX basierenden Schnittstellen, den ADO (ActiveX Data Objects), kann man von Delphi aus mit einer Access Datenbank kommunizieren.

4.1.1. Erstellen einer Access-Datenbank

Eine neue Datenbank und die dazugehörigen Tabellen können manuell oder auch mit dem im Programm integrierten Assistenten erstellt werden.
Im Beispiel soll zunächst eine Datenbank mit einer Archivierungstabelle für Pulverproben entstehen.
Zunächst muss Access über das Symbol im Startmenü gestartet werden.

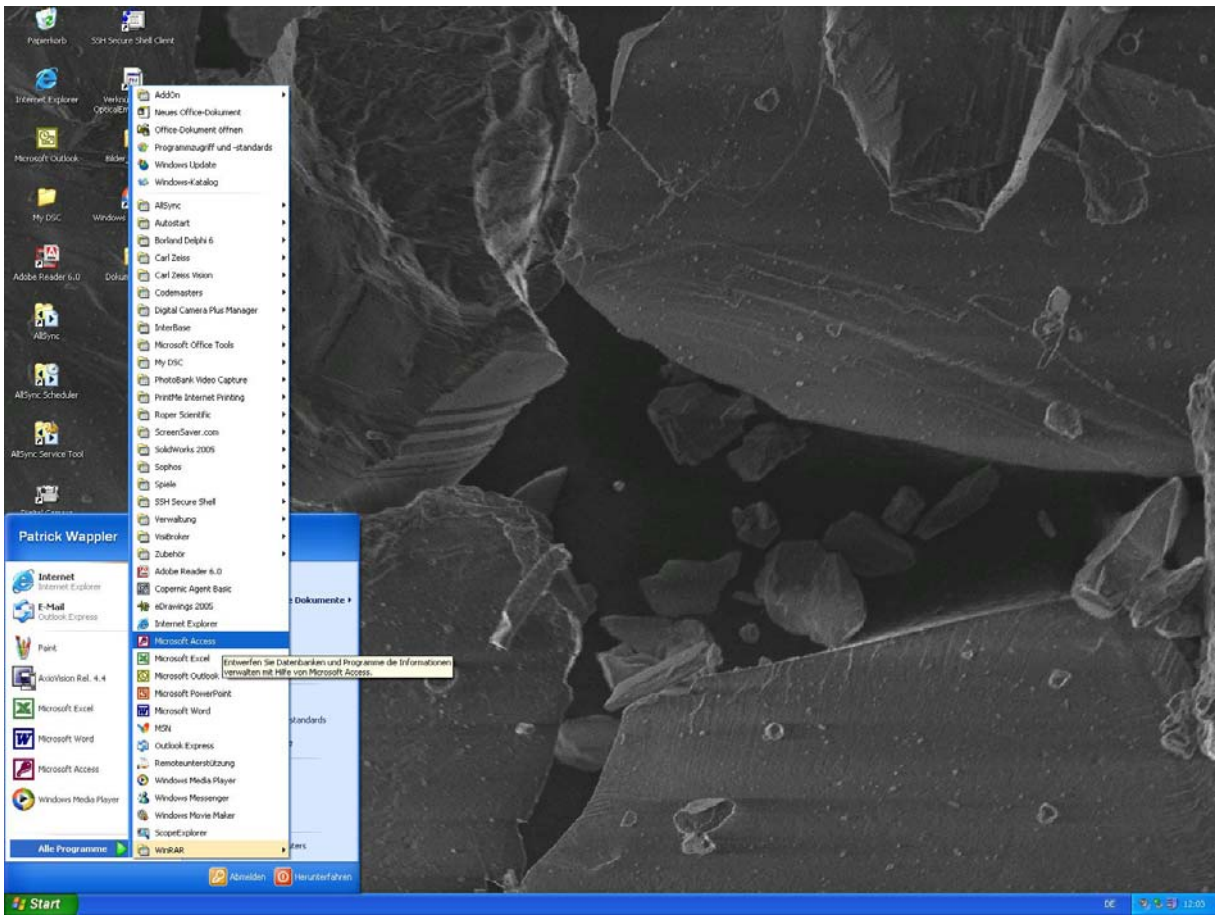


Abb. 4.1: Starten von Microsoft Access

Nachdem das Programm geladen wurde, kann im Menü gewählt werden, ob die neue Datenbank manuell oder mit Hilfe des Assistenten erstellt werden soll. Besteht schon eine Datenbank, kann diese zur Ansicht oder Bearbeitung geladen werden.
Um die neue Datenbank zu erstellen, wird die Option „Leere Access-Datenbank“ gewählt und mit „OK“ bestätigt.

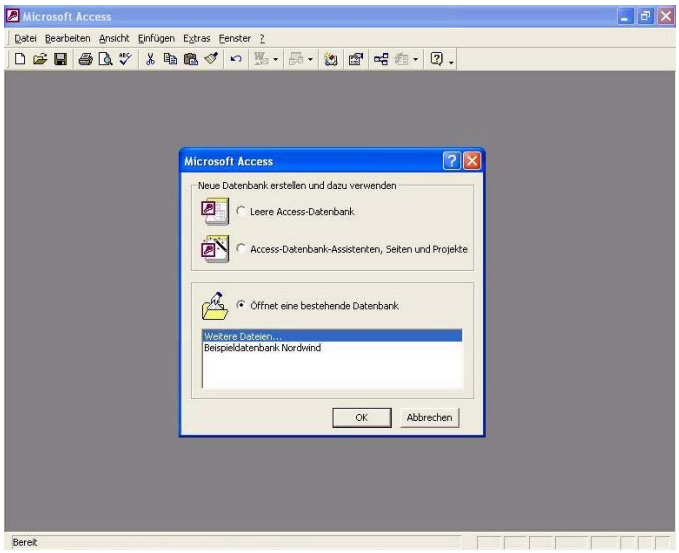


Abb. 4.2: DB – Auswahlmenü

Im folgenden Speichermenü muss der Name sowie der Speicherort der Datenbank angegeben werden.

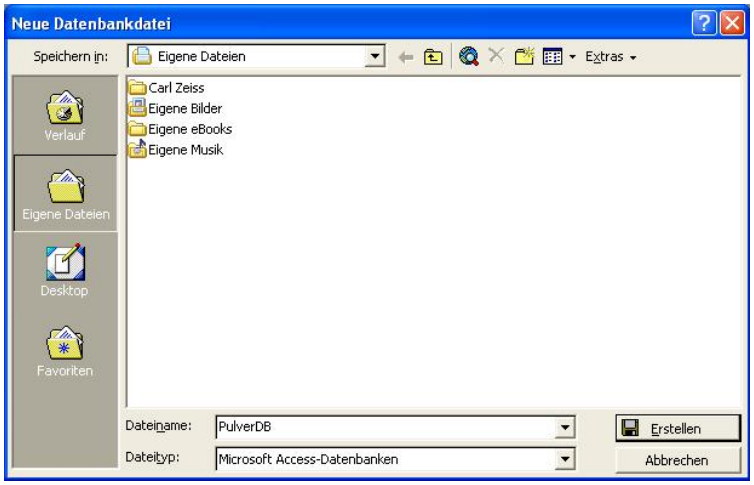


Abb. 4.3: Speichermenü

Nachdem die Datei angelegt wurde, wird das Hauptmenü der Datenbank gestartet. In diesem Menü können Tabellen erstellt und bearbeitet sowie Abfragen, Berichte und Makros angelegt werden.
Um in der Datenbank eine Tabelle zur Speicherung der Datensätze anzulegen, muss im Objektmenü der Bereich „Tabellen“ gewählt werden. Mit dem Button „Entwurf“ wird der Tabellen-Assistent gestartet.

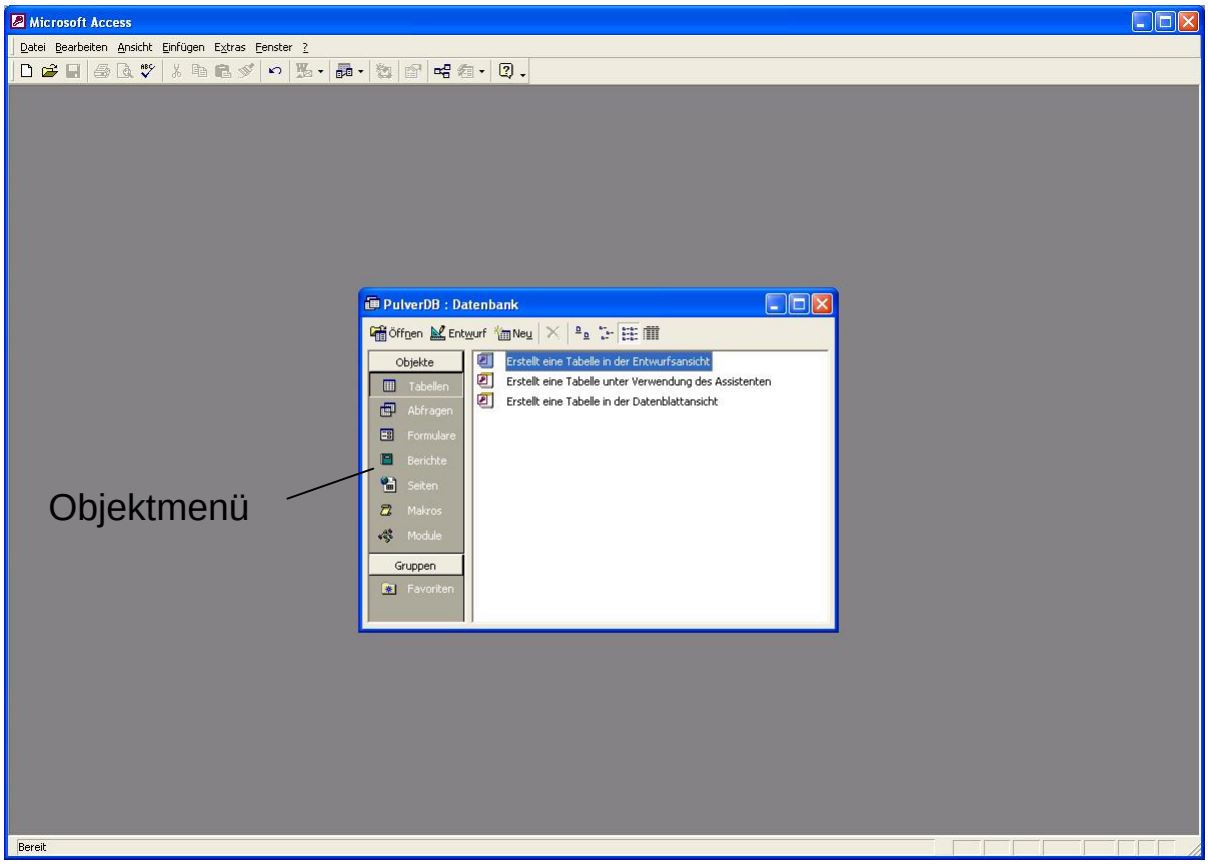


Abb. 4.4: Access Benutzeroberfläche mit Datenbank – Hauptmenü

Der Tabellenassistent ermöglicht das schnelle Erstellen einer Tabelle, um Datensätze zu verwalten. Dazu muss in die einzelnen Zeilen jeweils der Feldname, der Felddatentyp und eventuell eine kurze Beschreibung eingegeben werden.

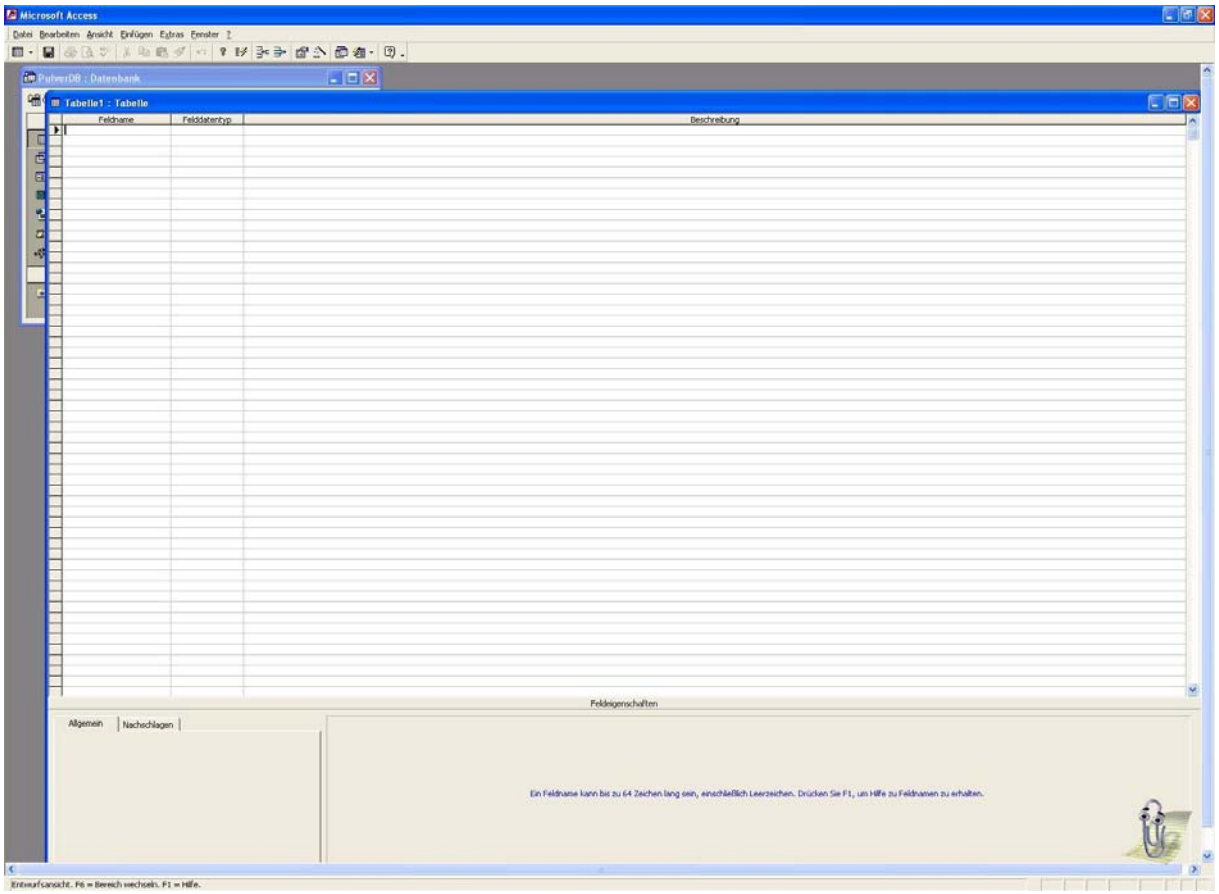

Microsoft Access
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Extras Fenster ?
PulverDB : Datenbank
Tabelle1 : Tabelle
Feldname
Felddatentyp
Beschreibung
Feldeigenschaften
Allgemein
Nachschlagen
Ein Feldname kann bis zu 64 Zeichen lang sein, einschließlich Leerzeichen. Drücken Sie F1, um Hilfe zu Feldnamen zu erhalten.
Entwurfsansicht. F6 = Bereich wechseln. F1 = Hilfe.

Abb.4.5: Tabellenassistent

Der Assistent bietet im rechten unteren Bildbereich eine kurze Beschreibung der ausgewählten Funktion. Im linken unteren Fenster werden die Eigenschaften des Felddatentyps angezeigt, diese können bei Bedarf auf die eigenen Ansprüche angepasst werden.
Der Felddatentyp legt das Format des jeweiligen Feldes fest.
Die wichtigsten Datentypen sind Text, Memo und AutoWert.
In den Datentypen Text und Memo können beliebige Zeichenfolgen abgespeichert werden. Während der Typ „Text“ dabei auf 255 Zeichen begrenzt ist, kann im Typ „Memo“ ein beliebiger Text gespeichert werden.
Der Typ „AutoWert“ nummeriert die einzelnen Einträge im Datensatz, er zählt beginnend bei 1 in ganzzahligen Schritten nach oben.
Dieser Wert eignet sich in unserem Fall besonders um jedem Eintrag eine eindeutige Kennung zuzuweisen.

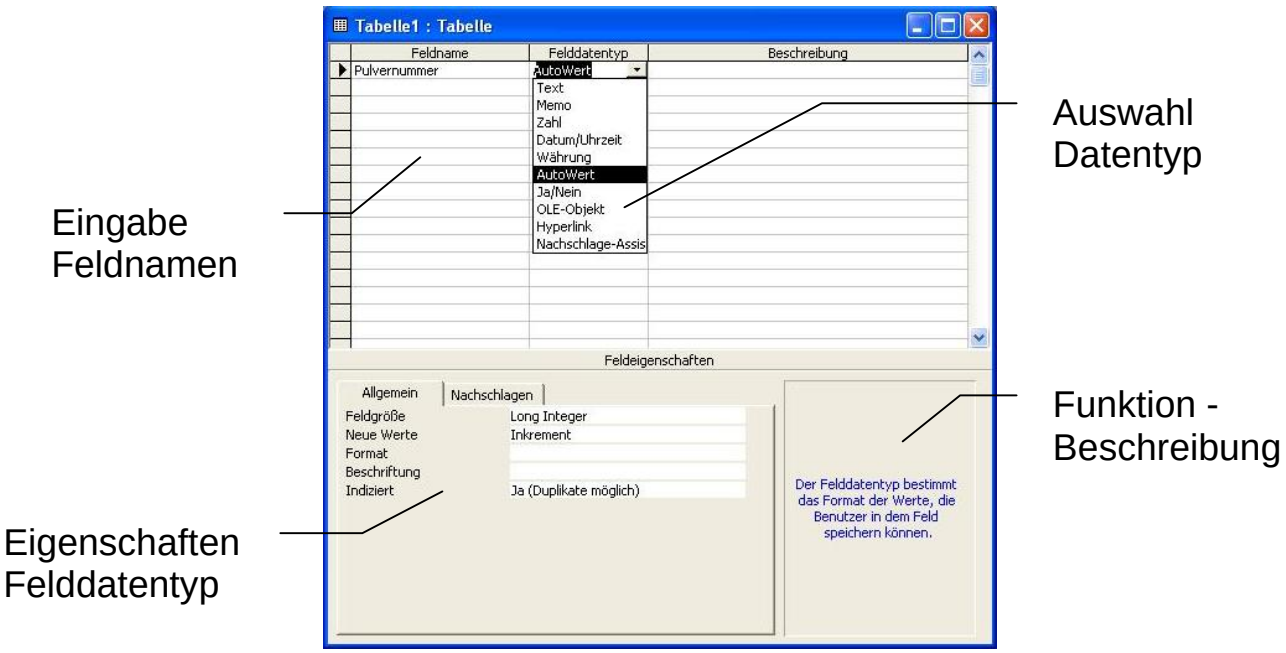


Abb. 4.6: Eingabe der Feldnamen und Definition des Felddatentyp

Um die Tabelle später mit einer anderen Tabelle verknüpfen zu können, weil z.B. in einen Datensatz der Messinformation ein Querverweis zum verwendeten Pulver und dessen Daten erstellt werden soll, muss ein Primärschlüssel festgelegt werden.
Für den Schlüssel bietet sich eine laufende Nummer an, da diese immer eindeutig vergeben ist.
Zum Festlegen des Schlüssels genügt ein Klick mit der rechten Maustaste in den Auswahlbereich der Zeile, welche den Autowert enthält.
Mit einem Mausklick im Popup-Menü wird der Primärschlüssel auf diese Zeile zugewiesen.

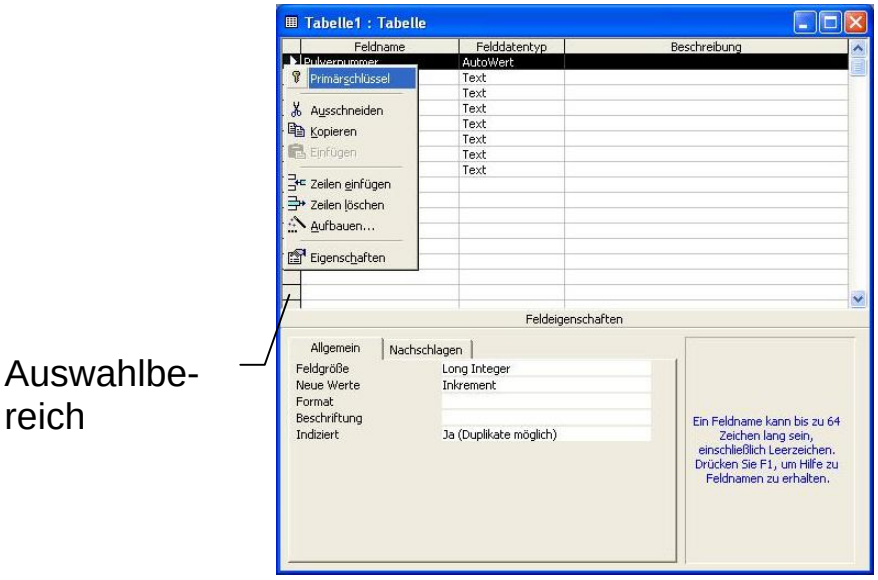


Abb. 4.7: Erstellen eines Primärschlüssels

Nachdem alle Felder eingegeben und definiert wurden und der Primärschlüssel ausgewählt ist, kann der Assistent geschlossen werden.
Sobald die Speicherabfrage des Assistenten mit „Ja“ beantwortet wurde, muss im folgenden Menü ein Name für die Tabelle festgelegt werden.

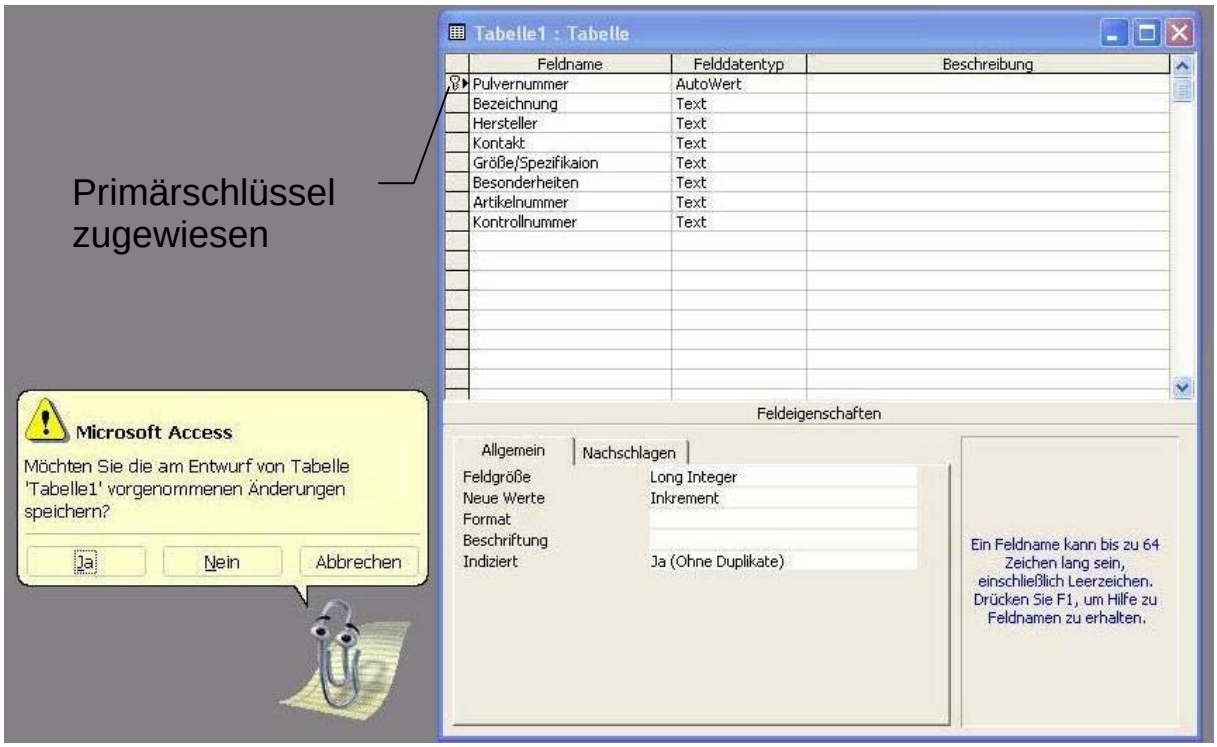


Abb. 4.8: Schließen des Assistenten

Abb. 4.9: Eingabe Tabellenname

Die erstellte Tabelle erscheint nun als Objekt im Hauptmenü der Datenbank und kann jederzeit mit einem Doppelklick geöffnet und bearbeitet werden.

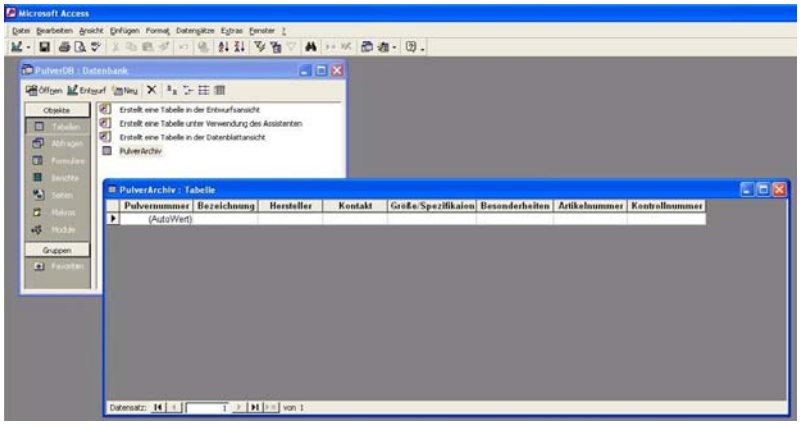


Abb. 4.10: Tabellenansicht

4.1.2. Freigabe einer Access-Datenbank unter Windows

Um mit dem auf Delphi basierenden Archivierungsprogramm auf die Access-Datenbank zugreifen zu können, muss diese zunächst unter Windows freigegeben und als Datenquelle autorisiert werden.
Je nach genutzter Version von Microsoft Windows kann die Menüführung von der im Folgenden beschriebenen leicht abweichen.

Zunächst muss der Datenquellen-Administrator durch Anklicken der folgenden Symbole geöffnet werden:

Im Menüfenster des Freigabeassistenten muss in der Registerkarte „Benutzer – DSN“ mit dem Button „Hinzufügen“ eine neue Datenquellendatei geöffnet werden.

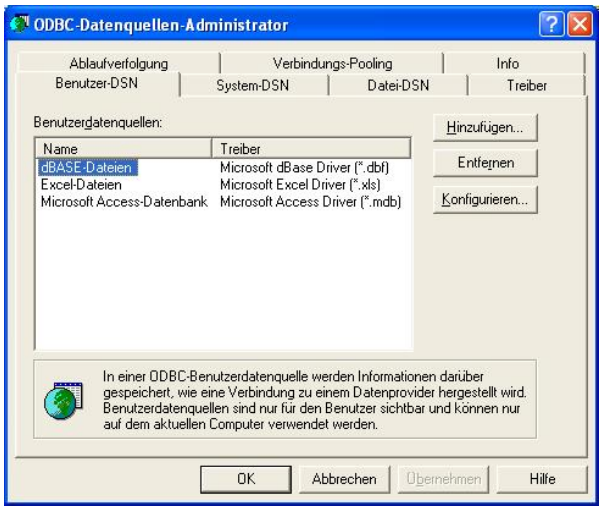


Abb. 4.11: Hauptmenü des Administrator

Neue Datenquelle erstellen
Wählen Sie einen Treiber aus, für den Sie eine Datenquelle erstellen möchten.
Name
Driver da Microsoft para arquivos texto (*.txt; *.csv)
Driver do Microsoft Access (*.mdb)
Driver do Microsoft dBase (*.dbf)
Driver do Microsoft Excel(*.xls)
Driver do Microsoft Paradox (*.db)
Driver para o Microsoft Visual FoxPro
Microsoft Access Driver (*.mdb)
Microsoft Access-Treiber (*.mdb)
Microsoft dBase Driver (*.dbf)
< Zurück
Fertig stellen
Abbrechen

Abb. 4.12: Treiberauswahl

Datenquelle muss ein Treiber für Microsoft Access ausgewählt und mit dem Button „Fertig stellen“ bestätigt werden.

Im ODBC Access Setup werden die Verbindungsdaten zur Datenbank angegeben. Zunächst muss ein Datenquellenname eingegeben werden, dann wird die für die Datenverbindung vorgesehene Datenbank im Menü „Hinzufügen“ ausgewählt.

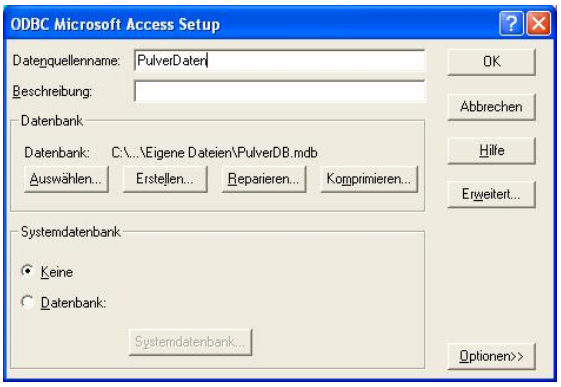


Abb. 4.13: Access Setup Menü

Abb. 4.14: Auswahl der Datenbank

Nach dem Bestätigen mit „OK“ wird die neu erstellte Datenquelle im Administrator Fenster angezeigt.

Abb. 4.15: Administrator mit Datenquelle „PulverDaten“

4.2. Der Archivierungsassistent

Das in der Programmiersprache Delphi geschriebene Programm soll die Übernahme der Auswertungsdaten in eine Archivierungsdatenbank automatisieren. Dabei soll die Möglichkeit bestehen, weitere Angaben zum Messprotokoll hinzuzufügen und einzelne Datensätze zu visualisieren.
Im Folgenden soll zunächst ein Bedienungsablauf beispielhaft erklärt werden. Im zweiten Abschnitt soll speziell die Funktionsweise des Programms und das Vorgehen beim Ansteuern von Datenbanken unter Delphi näher beleuchtet werden.

4.2.1 Arbeiten mit dem Archivierungsassistenten

Das Archivierungsprogramm kann auf zwei Arten gestartet werden. Zum einen durch direktes Starten über die Anwendungsdatei (*.exe) oder einer mit ihr verbundenen Verknüpfung.
Die Software kann aber auch in ihrer Entwicklungsumgebung, der Delphi-Benutzeroberfläche, geladen und gestartet werden. Hierzu muss die Projektdatei (*.dpr) mit der Delphi-Software geladen werden.

Abb. 4.16: Anwendung

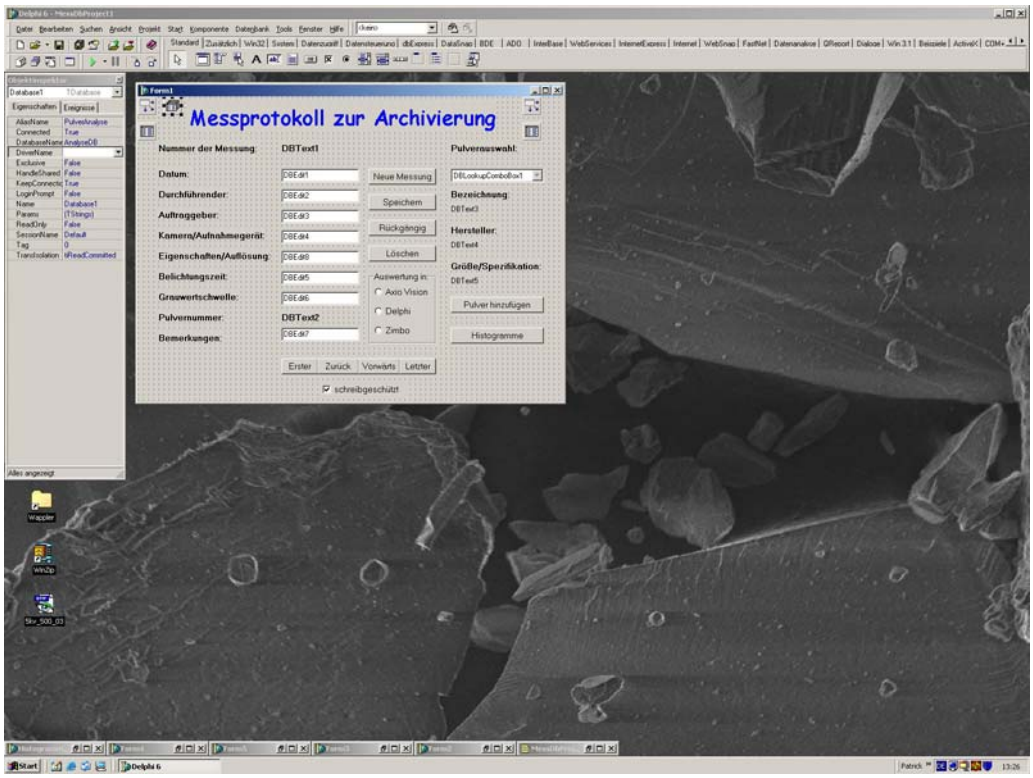


Abb. 4.17: Archivierungsprogramm geladen in Delphi

Auf der Arbeitsoberfläche der geladenen Software befinden sich mehrere Text- Ein- und Ausgabefelder sowie Steuerbuttons, deren Funktion in Kap. 4.2.2 näher beschrieben wird.
Zum Starten der Software muss im Menü „Start“ die Funktion „Start“ gewählt oder die Taste F9 gedrückt werden.
Nach dem Programmstart öffnet sich das Eingabefenster für die Angaben zum Messprotokoll, es stellt das Hauptmenü dar. Im rechten Bereich befinden sich die Informationen zum bei der Messung verwendeten Pulver. Hier kann mit Hilfe der Scroll-Box ein Pulver aus der Datenbank ausgewählt oder ein neues Pulverprofil angelegt werden.

Abb. 4.18 Eingabefenster für das Messprotokoll

Um ein neues Pulver in die Datenbank aufzunehmen, gelangt man über den Button „Pulver hinzufügen“ zur Eingabemaske für die Pulverdaten.

Abb. 4.19: Pulverarchiv neue Eingabe

Abb. 4.20: Pulverarchiv mit Pulverdaten

Das Pulverarchiv verfügt wie das Hauptmenü über einen Navigator, mit dem man sich durch die bereits bestehenden Datensätze bewegen kann. Eine Schreibschutzeinrichtung verhindert ein nicht gewolltes Löschen oder Veränderungen an den bestehenden Datensätzen.
Ist der Schreibschutz deaktiviert, kann mit dem Button „Neues Pulver“ ein neuer Datensatz geöffnet werden. In die Eingabefelder können nun die Angaben zum neuen Pulver eingetragen werden. Jedes der Textfelder muss dabei beschrieben werden. Felder, die keine Angabe enthalten sollen, können z.B. durch einen Bindestrich (-) belegt werden.
Das Rücksetzen der Eingaben wird jederzeit durch die Funktion „Rückgängig“ ermöglicht.
Durch den Button „Speichern“ werden die Eingaben in den geöffneten Datensatz der Datenbank übernommen.
Das Pulverarchiv besitzt außerdem eine Löschfunktion, um nicht mehr benötigte Datensätze aus der Datenbank zu entfernen.
Vorsicht: Der Datensatz wir unwiderruflich aus der Datenbank gelöscht!

Nachdem das neue Pulver aufgenommen wurde, gelangt man über die Schaltfläche „Zum Messprotokoll“ zurück zum Messprotokoll.

Auswahl der Auswertungs-software

Abb. 4.21: Das neue Pulver kann jetzt ausgewählt werden

Um Angaben zur Messung in den Datensatz eingeben zu können muss nach dem Deaktivieren des Schreibschutzes mit dem Button „Neue Messung“ ein neuer Datensatz geöffnet werden.
Das in der Scroll-Box ausgewählte Pulver wird dem Datensatz automatisch hinzugefügt, auch die wichtigsten Angaben zum Pulver sind hier noch einmal angegeben.
Wurden alle Angaben zur Messung in die jeweiligen Textfelder eingegeben, muss das Analyseprogramm, in dem das Pulver ausgewertet wurde, in der Radio-Box ausgewählt werden.

Bei der Auswahl der Auswertesoftware öffnet sich ein Fenster, in dem die automatisierte Übernahme der Auswertedaten gesteuert wird.

Abb. 4.22: Fenster zur automatischen Übernahme der Axio Vision Daten

Um die bei der Analyse ermittelten Parameter in den Datensatz der jeweiligen Messung einzufügen und somit in die Datenbank zu übernehmen, muss zunächst die Auswertedatei von Axio Vision ausgewählt werden. Über die Schaltfläche „Axio Daten laden“ gelangt man zum Auswahlmenü der zu ladenden Auswertedatei.

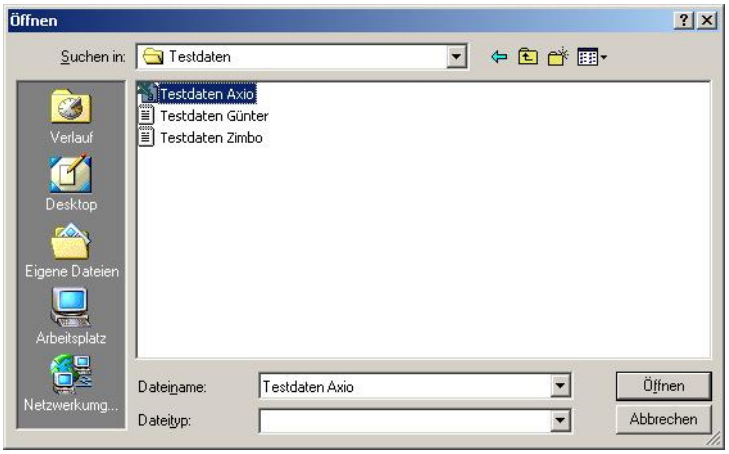


Abb. 4.23: Laden der Auswertedatei

Vorsicht: Es können nur Auswertedateien des in Tabelle 7.1 (Anhang) bestimmten Typs fehlerfrei vom Programm verarbeitet werden!

Der Inhalt der geladenen Datei wird im Fenster angezeigt.
Mit dem Button „Datensatz übernehmen“ wird die Verarbeitung und Speicherung der einzelnen Parameter in die jeweiligen Felder des Datensatzes gestartet.

Abb. 4.24: Die geladene Datei wird im Ausgabefenster ausgegeben

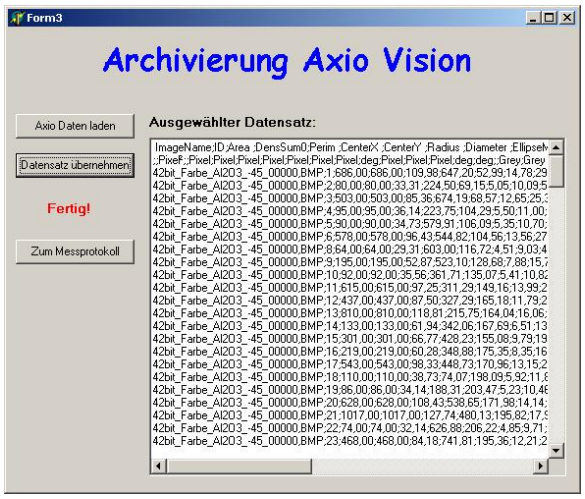


Abb. 4.25: Datensatz wurde übernommen

Mit der Schaltfläche „Zum Messprotokoll“ gelangt man zurück zum Hauptmenü.
Nachdem alle Angaben zur Messung in die Textfelder eingetragen wurden, wird der Datensatz mit „Speichern“ in die Datenbank übernommen. Auch hier müssen alle Textfelder belegt werden.

Abb. 4.26: Der Datensatz kann übernommen werden

Das Programm verfügt zusätzlich zur Archivierung auch über eine Histogramm Darstellung der Parameter. Mit dem Button „Histogramme“ kann diese Funktion vom Hauptmenü aus gestartet werden.
Das Programm stellt die Verteilungshäufigkeit des aktuell im Hauptmenü geöffneten Datensatzes, hier also vom Datensatz mit der Messnummer 33. Im HistogrammForm kann zwischen der Anzeige von sechs verschiedenen Parameter in der GroupBox links ausgewählt werden.

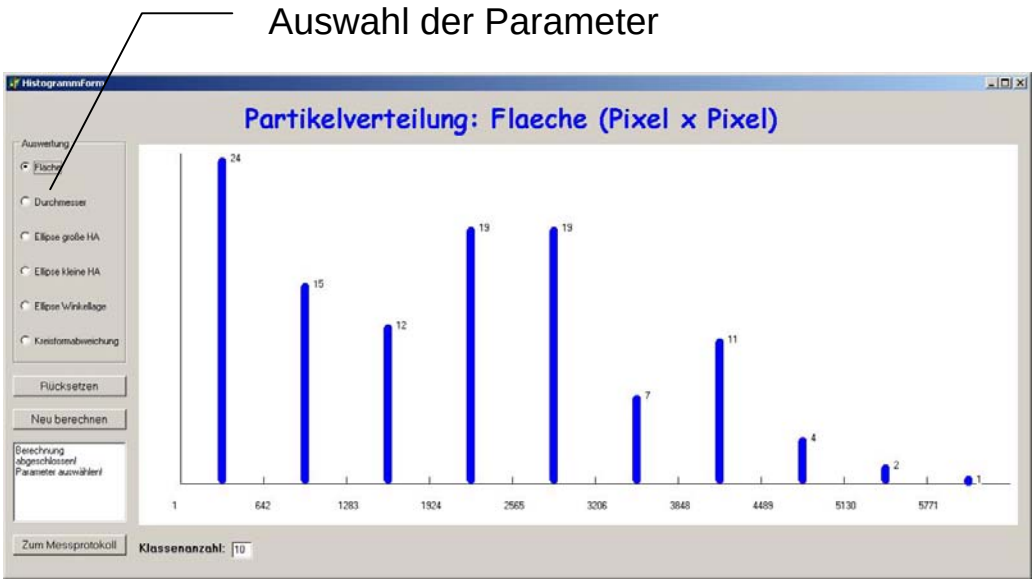


Abb. 4.27: Darstellung der Flächen-Häufigkeiten im HistogrammForm

Die Klassenanzahl kann im Textfeld unter der Grafik verändert werden. Nach jeder Änderung muss mit dem Button „Neu berechnen“ die Änderung aktiviert werden. Um ein Überschreiben der alte Grafik zu vermeiden, kann diese mit „Rücksetzen“ deaktiviert werden.

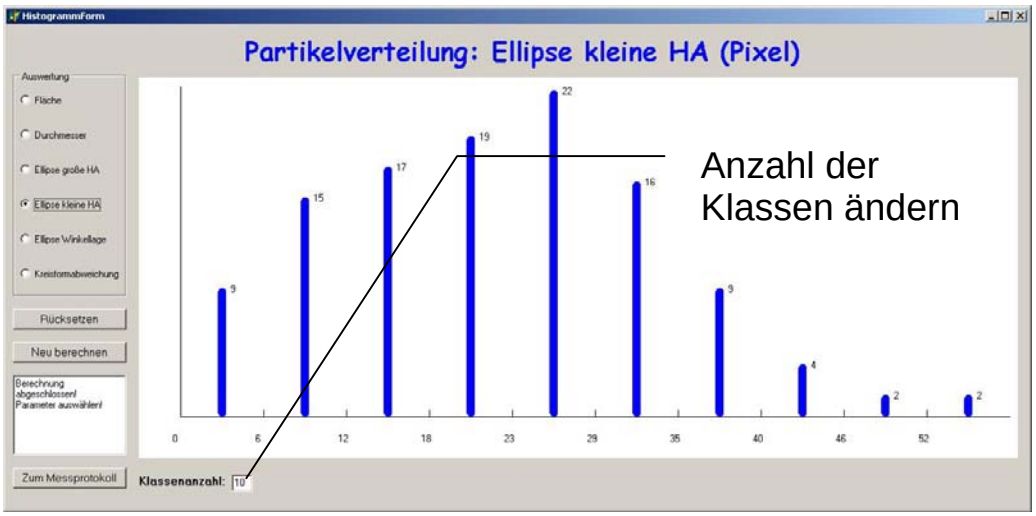


Abb. 4.28: Darstellung der Verteilung der kleinen Halbachse (Ellipse)

4.2.2 Funktionsprinzipien

Datenzugriff:

Das Programm nutzt für die Anbindung der Datenbank die unter Delphi zur Verfügung stehenden Datenzugriffskomponenten.
Die folgende Skizze verdeutlicht das Wirkungsprinzip der Komponenten.

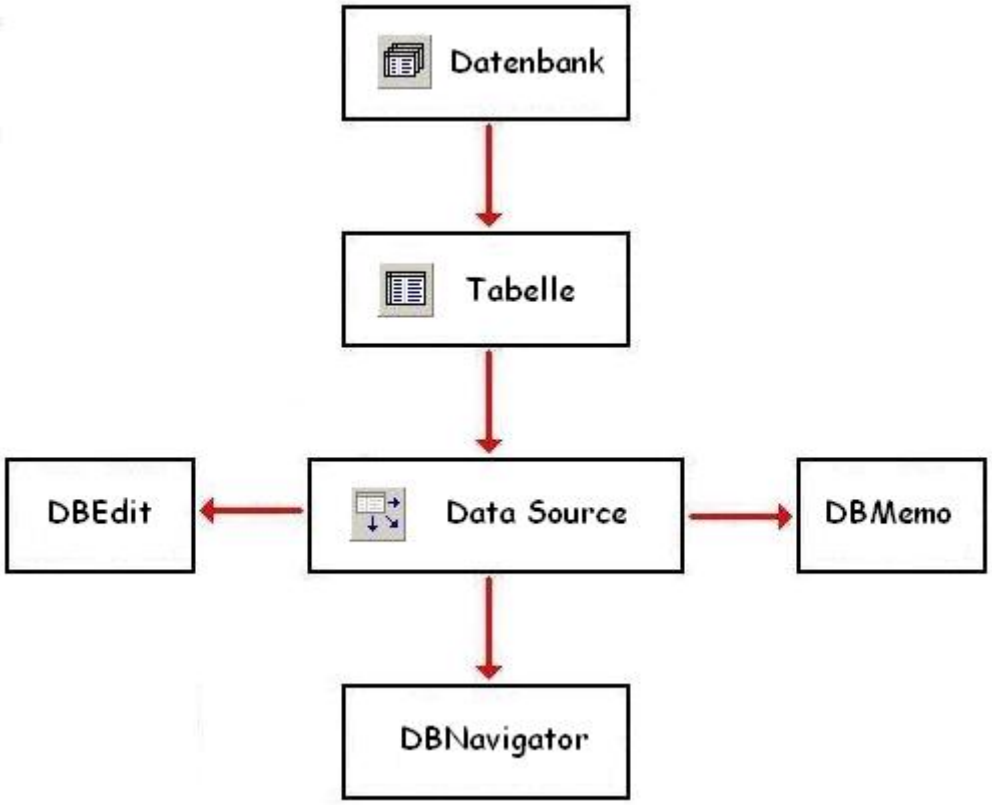


Abb. 4.29: Zusammenwirken der Datenzugriffskomponenten

Die Daten der Datenbank werden über Datensteuerungskomponenten (DBText, DBEdit, DBMemo, ...) eingegeben oder angezeigt.
Dazu wird zunächst die Access-Datenbank in eine eigene Delphi- Datenbank (DataBase) geladen.
Der Zugriff der Datensteuerungskomponenten auf die einzelnen Tabellen und deren Datenfelder erfolgt über eine DataSource-Komponente.
Die Funktion der DataSource kann mit der eines Verteilers verglichen werden, sie verbindet die einzelnen Ein- und Ausgabefelder direkt mit den entsprechenden Feldern der Tabelle.
Zur Navigation zwischen verschiedenen Datensätzen einer Tabelle steht eine Navigationskomponente (DBNavigator) zur Verfügung. Im vorliegenden Programm wurde diese Navigationskomponente jedoch selbst entwickelt.

Die einzelnen Komponenten müssen durch die entsprechenden Funktionsfelder im Objektinspektor miteinander verknüpft werden.

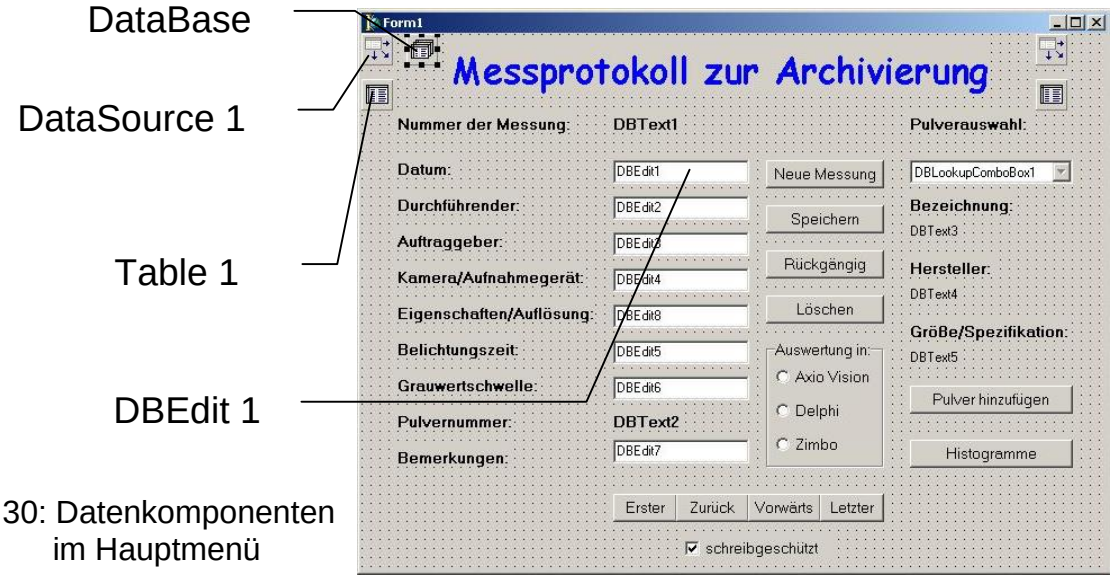


Abb. 4.30: Datenkomponenten im Hauptmenü

Am Beispiel der Datenkomponenten im Hauptmenü des Archivierungsprogramms kann man die Verknüpfung darstellen.
Wie in Abb. 4.31 dargestellt, ist *Table 1* über den Datenbankname mit der DataBase „AnalyseDB“ verbunden, ihr wurde aus dieser Datenbank die Tabelle mit dem TableName „Messung“ zugeordnet.
Table 1 wird nun im Objektinspektor an *DataSource 1*, welche als Anbindung der Tabellenfelder an die Eingabefelder (DBEdit) dient, angebunden [Abb. 4.30].
Um die Verbindungskette zu schließen, wird, wie in Abb. 4.32 beispielhaft gezeigt, jedes Eingabefeld über die Funktion DataSource im Objektinspektor mit der Datenquelle *DataSource 1* verbunden.
Dem jeweiligen Eingabefeld wird zudem ein Feld der Tabelle *Table 1* zugeordnet. Im Beispiel wird das Eingabefeld *DBEdit 1* mit dem Datenfeld „Datum“ verbunden.

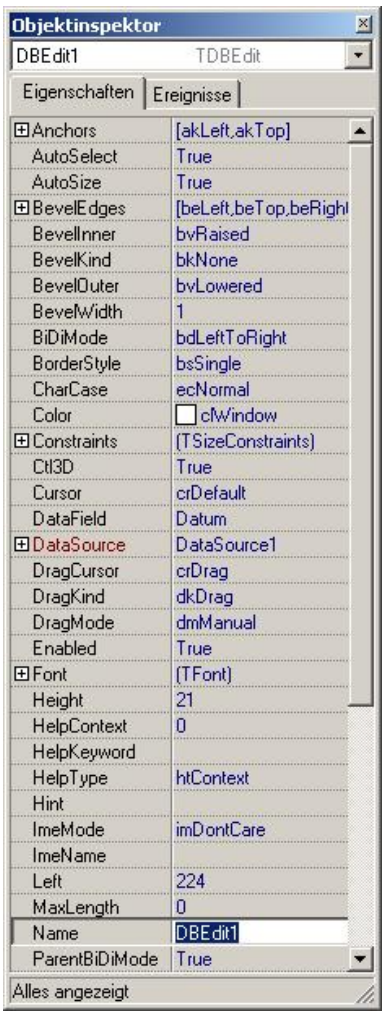


Abb. 4.31 Abb. 4.32 Abb. 4.33

Abb. 4.31-33: Objektinspektor- Ansicht der Datenkomponenten

Durch diese Anbindung kann nun im Programm sehr einfach eine Eingabe im entsprechenden Feld eines Datensatzes gespeichert werden.

```
var
 TeilStringArray: Array of String;
 i: Integer;

begin
  Table1.Append;
    for i:=0 to 2 do
     begin
      Case i of
       0: Table1Bildname.Value             := TeilStringArray[0];
       1: Table1ID.Value                   := TeilStringArray[1];
       2: Table1FlaechePixelxPixel.Value   := TeilStringArray[2];
      end;
     end;
  Table1.Post;
end;
```

Abb. 4.34: Übergabe der Daten vom Speicherarray an Tabellenfelder

Für alle Datenzugriffe im Programm ist es erforderlich, dass die Zugriffskomponenten aktiviert wurden. Die Komponenten sind aktiv, wenn die Funktion „Active“ im Objetinspektor den Wert „True“ angenommen hat.

Verarbeitung der Auswertungsdateien:

Die Analyse-Programme speichern alle ermittelten Parameter in einer Auswertungsdatei. Die einzelnen Werte werden, getrennt durch ein bestimmtes Zeichen (z.B. Komma, Tabulator, ...), von der Software in dieser Datei aufgelistet.
Im Folgenden soll kurz die Funktion, die die Parameter ausliest und in die einzelnen Felder des jeweiligen Datensatzes übernimmt, beschrieben werden.

```
Var                                                    //Variablendeklaration
 LinienAnzahl: Integer;
 Linie: String;
 LaengeString: Integer;
 PositionTeilString: Integer;
 TeilString: String;
 MySubString: String;
 Linienindex: Integer;
 Zeilenindex: Integer;
 TeilStringArray: Array of String;
 i: Integer;
 n: Integer;

begin

  LinienAnzahl:=Memo1.Lines.Count;
  SetLength(TeilStringArray,20);
 For Linienindex:=2 to Linienanzahl-1 do               //Einleseschleife
 begin
  Linie:=Memo1.Lines[Linienindex];                     //Einlesen der Linie
  LaengeString:=Length(Linie);                         //Länge der Linie
  Zeilenindex:=1;
  n:=0;
  for i:=0 to 20-1 do TeilStringArray[i]:=' ';
  While Zeilenindex<=LaengeString do                   //Verarbeitungsschleife
   begin
    Linie:=TrimLeft(Linie);                            //Leerzeichen links löschen
    MySubString:=';';                                  //Trennzeichen bestimmen
    PositionTeilString:= Pos(MySubString,Linie);       //Trennzeichen suchen in „Linie“
    TeilString:=Copy(Linie,1,PositionTeilString-1);    //Kopieren der Information

    Delete(Linie,1,PositionTeilString);                //Löschen des Teilstring

    If PositionTeilString=0 then                       //Verarbeitung letzte Spalte
    Begin                                                (es wird kein SubString mehr
    TeilString:=Linie;                                     gefunden!)
    PositionTeilString:=Length(Linie);
    end;
    Zeilenindex:=Zeilenindex+PositionTeilString;
    TeilStringArray[n]:=TeilString;
    n:=n+1;
   end;
 end;
end;
```

Abb. 4.35: Quelltext der Verarbeitungsprozedur

Nach dem Laden der Auswertedatei [siehe Abb. 4.24] stellt das Programm zunächst fest, wie viele Linien (also Datensätze) ausgelesen werden müssen. Diese Information dient als Endkriterium für die Einleseschleife. Danach wird die Einleseschleife gestartet.
Zunächst wird die aktuelle Linie zur Verarbeitung in die Variable *Linie* eingelesen, dann ihre Gesamtlänge bestimmt.
Die Gesamtlänge *LaengeString* dient als Schlusskriterium für die anschließende Verarbeitungsschleife. Der Grundgedanke ist, die eingelesene Linie in die einzelnen Informationen zu trennen und diese zu übernehmen. Die Verarbeitungsschleife löscht zunächst alle linksseitigen Leerzeichen der eingelesenen Linie. Dann wird das Trennungszeichen der einzelnen Informationen definiert und dessen erste Position in der Linie bestimmt. Die Information der Zeile bis zum ersten Trennzeichen wird an die erste Stelle des SpeicherArray kopiert und somit als Datensatz übernommen. Nachdem die Information gewonnen wurde, wird diese aus der Gesamtzeile gelöscht, auch das Trennzeichen wird gelöscht.
Die Schleife startet erneut und überträgt nach demselben Prinzip die weiteren Informationen der Linie.
Wenn alle Linien verarbeitet wurden endet die Prozedur.
Die Informationen werden dann nach dem oben beschriebenen Prinzip [Abb. 4.34] aus dem SpeicherArray in die Tabellenfelder übergeben.

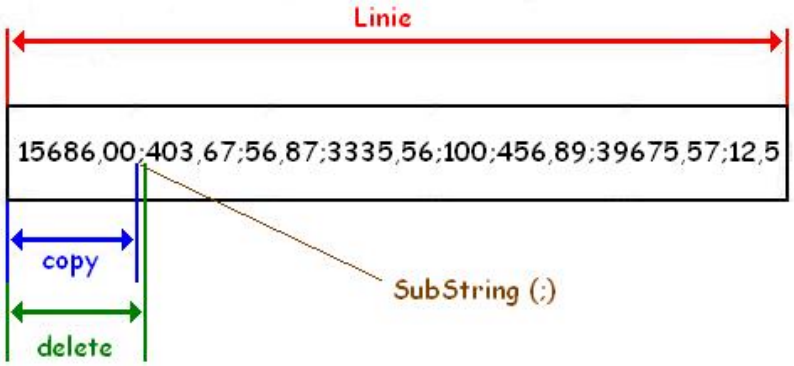


Abb. 4.36: Trennung der einzelnen Parameter aus der Gesamtzeile

Anforderungen an die Auswertedateien:

Für die Verarbeitung der Parameter durch das Archivierungsprogramm müssen die Ausgabedateien eine bestimmte Form haben. Es müssen stets die gleichen Parameter in gleicher Reihenfolge von den Programmen in der Datei gespeichert werden, da sonst Zuordnungsprobleme auftreten. In Kapitel 7.3 sind die für eine Verarbeitung notwendigen Reihenfolgen der Parameter in den Auswertungsdateien aufgeführt. Sollte ein anderer Parameter eingefügt oder die Reihenfolge verändert werden, muss das Programm an diese Umstände angepasst werden.

5. Auswertung

Anhand der sechs verwendeten Pulver soll im Folgenden die Eignung der Aufnahmegeräte, die Vor- und Nachteile der Analyse-Programme, sowie die Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Herstellerangaben geprüft werden.

5.1. Betrachtung der Aufnahmegeräte

Für die Aufnahmen standen die schon in Kapitel 2.2 vorgestellten Geräte zur Verfügung.
Während der Analysearbeiten wurden Vor- und Nachteile sowie Stärken und Schwächen der einzelnen Geräte sichtbar. Die Wertung bezieht sich ausschließlich auf die für die Partikelanalyse relevanten Eigenschaften.

5.1.1. Diascanner

Vorteile:

Die Analyse der Pulverproben mit einem Diascanner ist die günstigste aller Methoden. Ein Diascanner ist nahezu in jedem Labor vorhanden und kann, dank seiner Plug&Play-Eigenschaft, sehr einfach und mit wenig Aufwand installiert und betrieben werden. Weiterhin ist der Scanner aufgrund seiner Größe und Gewicht ein sehr mobiles Bildaufnahmegerät.

Nachteile:

Um ein auswertbares Ergebnis zu erzielen, muss die höchstmögliche Auflösung (5700x3800 Pixel) verwendet werden. Der Scanvorgang bei bester Auflösung bringt einen hohen Zeitaufwand mit sich, so benötigt das Gerät etwa 8 min, um ein einzelnes Dia zu scannen (Kalibrierung und Vorschau je 1 min, Scannvorgang 6 min) [Q4 S.10]. Aufgrund der hohen Auflösung wird durch die Bilder ein sehr großes Datenvolumen in Anspruch genommen (8bit Graustufen etwa 22 MB, 42bit Farbe etwa 67 MB je Bild), was die Bearbeitung und Auswertung zusätzlich verzögert.
Der angestrebte schnelle, automatisierte Analysevorgang, bei dem in kurzer Zeit möglichst viele Bilder ausgewertet werden sollen, verlangsamt sich enorm.
Der Scanner weist ebenfalls klare Nachteile bei der Qualität der Bilder auf. Aufgrund der verwendeten hohen Auflösung weisen die Bilder eine niedrige Tiefenschärfe auf, weshalb die Kanten der einzelnen Partikel unscharf und verschwommen dargestellt werden [Abb. 5.1].

Bei der Arbeit mit dem Scanner kann ein Maßstab der jeweiligen Vergrößerung nur durch die Auswertung eines Test Raster [Q4 S.11] ermittelt werden. Hierdurch entsteht eine zusätzliche Fehlerquelle.
Bei der Präparation wird das Pulver zwischen den beiden Glasplatten des Dias „eingeklemmt“ aber nicht optimal fixiert. Da der Diahalter senkrecht in den Scanner eingebracht wird, können die Partikel leicht nach unten rutschen. Diese Fehler werden jedoch erst nach dem Scan-Prozess bemerkt.

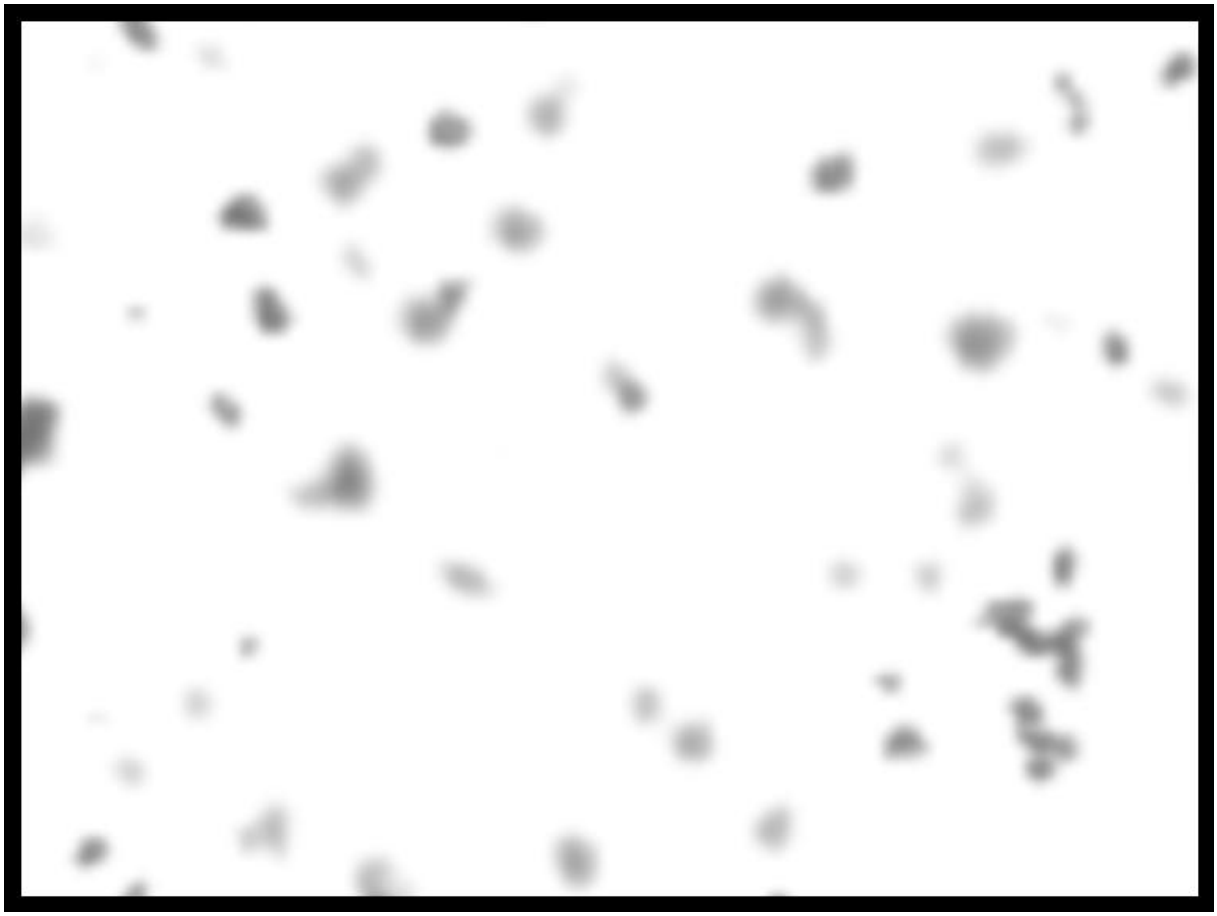


Abb. 5.1: Scanner-Aufnahme von Pulver 3 (8-bit Graustufen)

Graustufen oder Farbbild?

Der Scanner kann Bilder im 8-bit Graustufen oder im 42-bit Farbmodus erstellen. Nach Auswertung der Pulverbilder ergab sich, dass eine Aufnahme im 42-bit Farbmodus keine Verbesserung der Qualität mit sich bringt. Die Ergebnisse der Analyse weichen kaum von denen der 8-bit Bilder ab.
Es reicht also vollkommen aus, zur Auswertung das Pulver im 8-bit Graustufenmodus aufzunehmen.

5.1.2. Stereomikroskop

Vorteile:

Da das Discovery von Zeiss speziell für die Materialmikroskopie entwickelt wurde, bietet es natürlich eine Reihe von Vorzügen gegenüber anderen Geräten.

Der größte Vorteil spiegelt sich in der Qualität der Bilder wider.
Die Aufnahmen sind ohne vorherige Veränderung der Bildeigenschaften von allen Analyseprogrammen problemlos auswertbar, einzelne Partikel werden sauber erkannt. Durch die digitale Kamera können besonders die Kanten der einzelnen Partikel der Pulverprobe scharf abgebildet werden, was für die Auswertung eine bedeutende Rolle spielt [Abb. 5.2].

Das Mikroskop ist optimal mit der ebenfalls von Zeiss entwickelten Software AxioVision verbunden, was eine einfache Bedienung und eine problemlose Bildaufnahme ermöglicht.

Einen großen Vorteil bietet auch die Live-Bild-Einstellung. Anders als beim Scanner kann hier die Pulverprobe leicht verschoben und gleichzeitig am Bildschirm betrachtet werden. So kann ein optimaler Bereich für die Auswertung des Pulvers gewählt werden. Im Live-Modus können auch die Belichtungseigenschaften der Aufnahme optimal eingestellt und ermittelt werden. Dies garantiert eine gleichmäßige Beleuchtungsintensität, die für die Qualität der Kantendetektion sehr förderlich ist.

Durch die elektrisch verstellbare Einstellung der Vergrößerung ist es möglich, jedem Bild automatisch einen Maßstab hinzuzufügen.
Die Auswertungsparameter werden somit direkt in der richtigen Einheit ausgegeben oder können aus dem Bildpunktmaß Pixel direkt umgerechnet werden. Auch eine Vermessung einzelner Pixel wird so möglich [Abb. 5.2].

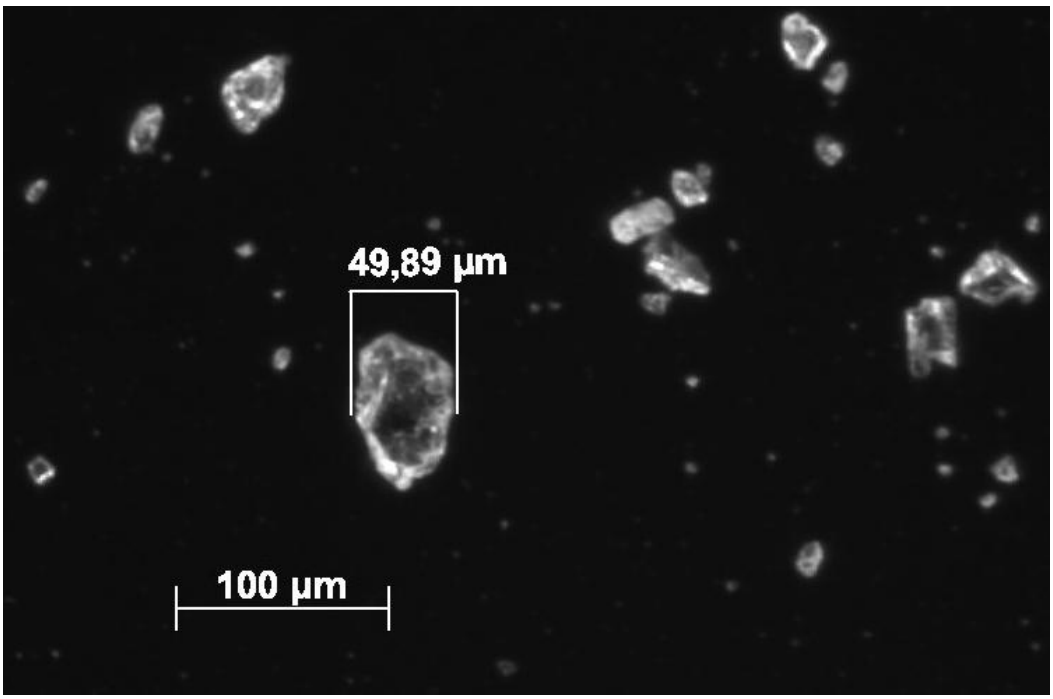


Abb. 5.2: Stereomikroskop-Aufnahme von Pulver 3 mit Vermessung und Maßstab (150fache Vergrößerung)

Nachteile:

Ein Nachteil ist in der Technik des Stereomikroskops begründet. Durch die beiden voneinander getrennten Optikgänge kann das Bild immer nur in der Brennpunktebene scharf betrachtet werden. Bei einem Pulver mit breit verteiltem Größenbereich (z.B. Pulver 5 und 6) ist es nicht möglich die Kanten der kleineren und gleichzeitig auch die der großen Partikel scharf darzustellen, was zu Fehlern in der Analyse führt [Abb. 5.3].

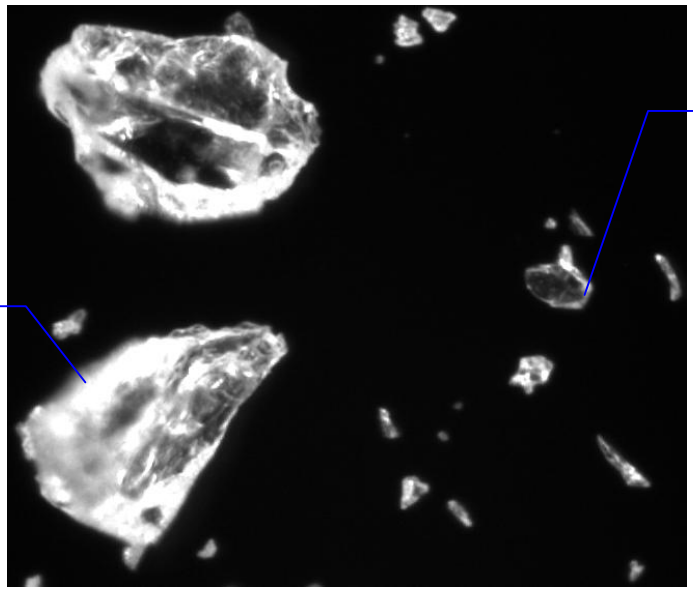


Abb. 5.3: Schärfenebene am Beispiel von Pulver 6 (Größenbereich <150 µm)

Im Gegensatz zum Scanner ist das Mikroskop aufgrund seiner Maße und dem Gewicht wesentlich unmobiler, außerdem ist es natürlich wesentlich teurer. Diese Nachteile sind aber im Bezug auf die Partikelanalyse als sekundär anzusehen.

5.1.3. Rasterelektronenmikroskop

Vorteile:

Mit dem REM können hohe Vergrößerungswerte bei gleichzeitig guter Tiefenschärfe erzielt werden.
Das Mikroskop ermöglicht so eine hohe Auflösung, mit der einzelne Partikel und deren Oberfläche und Kanten sehr scharf dargestellt werden können.

Das Mikroskop verfügt über eine Funktion, die jedem Bild den entsprechenden Maßstab hinzufügt. Dies ermöglicht ein exaktes Vermessen einzelner Objekte.

Nachteile:

Die Bilder, die das REM liefert, sind nicht dazu geeignet sie mit der beschriebenen Analyse-Software zu untersuchen. Durch die gleichmäßige Verteilung der Grauwerte im Bild kann das Programm einzelne Partikel nicht von der Umgebung unterscheiden. Eine Auswertung ist nicht möglich.

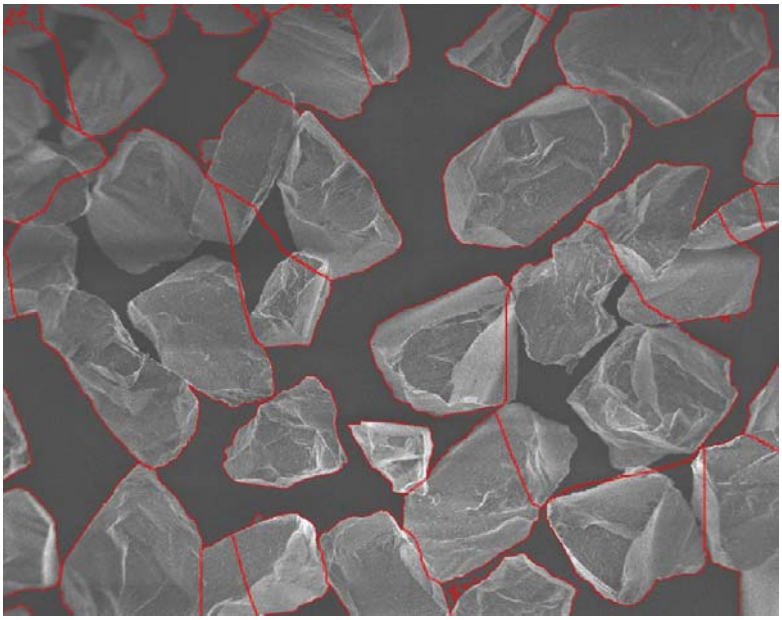
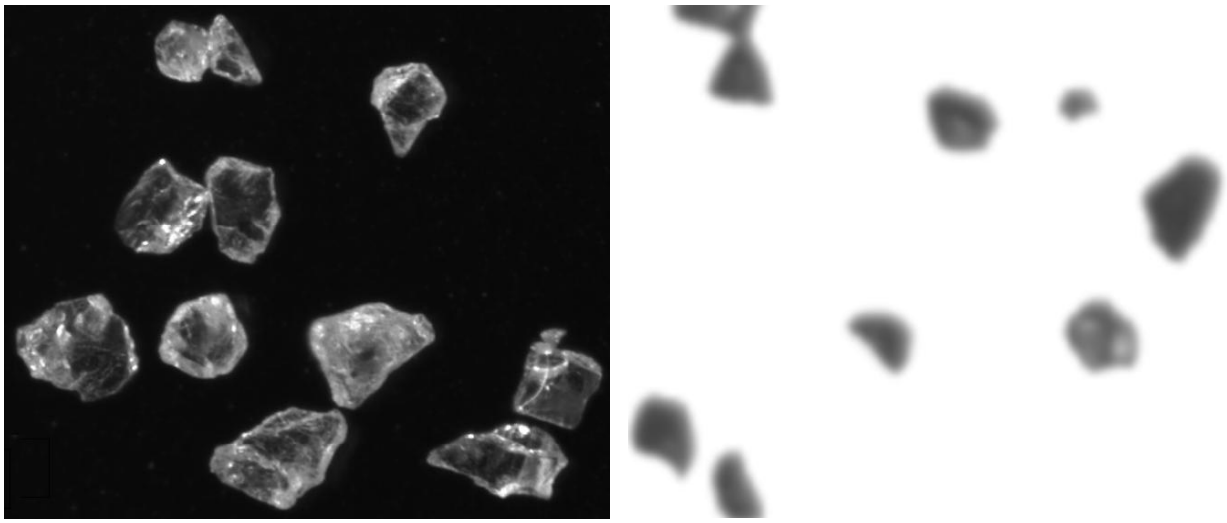


Abb. 5.4: Auswertung eines REM-Bildes, hier mit AxioVision, ist nicht möglich (Pulver 4, 250fache Vergrößerung)

Die Anschaffungskosten eines REM sind sehr hoch und liegen deutlich über dem Budget, dass am Institut EIT2 für die Forschungsarbeiten im Bereich Partikelanalyse zur Verfügung steht.

5.1.4. Eignung zur Partikelanalyse

Aufgrund der oben beschriebenen Vor- und Nachteile stellt das Stereomikroskop die beste Methode dar, qualitativ hochwertige Bilder von Pulverproben aufzunehmen.
Eine große Anzahl von Bildern kann mit wenig Aufwand erstellt und ohne weitere Bearbeitung von der Software automatisiert ausgewertet werden, was genau den gestellten Anforderungen entspricht.
Die Aufnahmen des Stereomikroskops sind gerade in der Schärfe der Partikelkanten deutlich besser als die des Diascanner [vgl. Abb. 5.5 a und b].
Das Verfahren, Partikelbilder mit dem Diascanner aufzunehmen, erweist sich jedoch als einfache Behelfsmethode, die in ihrem Qualitätsbereich durchaus akzeptable Ergebnisse liefert. Den gravierendsten Nachteil stellt die unscharfe Darstellung der Partikelkanten dar, auch das Fehlen eines Maßstabs vergrößert den Fehler der Ergebnisse.



a: Stereomikroskop b: Diascanner

Abb. 5.5: Aufnahmen von Pulver 4 Al_2O_3 –90 +45 µm

Das REM ist für die Partikelanalyse im Bereich Parameterermittlung nicht geeignet, da sich die Bilder von der Software nicht auswerten lassen. Im Bereich von mehr als 1000fachen Vergrößerungen, für die das REM hauptsächlich eingesetzt wird, wird es auch aufgrund der Partikelgröße unmöglich, mehrere Objekte für eine Auswertung in einem Bild aufzunehmen.

Die hervorragenden Eigenschaften des Mikroskops können für die Auswertung und Ermittlung von Parametern der Partikel nicht genutzt werden. Das REM bietet sich aufgrund dieser Eigenschaften jedoch für andere Gebiete der Partikeldiagnostik an.
Durch die möglichen Vergrößerungsbereiche können die Bilder z.B. für eine Oberflächenanalyse der Partikel verwendet werden. Ebenso könnte durch REM-Aufnahmen ein Beitrag zur Qualitätssicherung geleistet werden. So lässt sich zum Beispiel der Anteil geschmolzener Partikel und deren Oberflächenbeschaffenheit sehr gut analysieren.

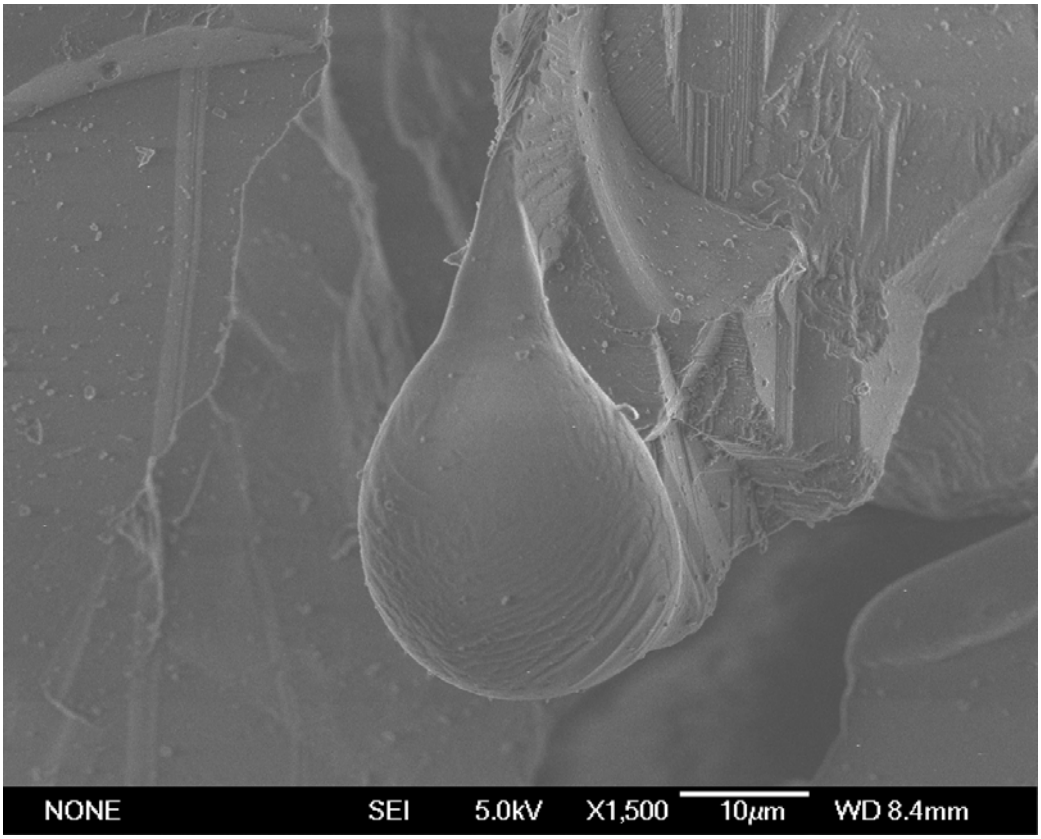


Abb. 5.6: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer Oberfläche
mit teilweise aufgeschmolzenen Strukturen
(Pulver 4, 1500fache Vergrößerung)

5.2. Vergleich der Analyseprogramme

Für die Analyse der aufgenommenen Partikelbilder stehen die in Kapitel 2.3 vorgestellten Programme zur Verfügung.
Im Folgenden soll die Eignung der Software geprüft werden. Dabei sollen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie Vor- und Nachteile der einzelnen Programme gegenübergestellt werden.
Aufgrund der Ergebnisse in Kapitel 5.1 werden für die Auswertungen ausschließlich Bilder, die mit dem Stereomikroskop erstellt wurden, verwendet.
Von jedem der 6 Pulver wurden bei 100facher Vergrößerung 10 Aufnahmen gemacht. Die 100fache Vergrößerung wurde gewählt, da hier bei jedem Pulver (besonders bei großen Pulvern) noch genügend Partikel für eine repräsentative Auswertung aufgenommen werden können.
Diese Aufnahmen wurden dann von jedem der 3 Programme ausgewertet und die Parameter in Dateien ausgegeben.
Um die Ergebnisse gegenüberstellen zu können, wurden sie in Microsoft Excel ausgewertet und in Histogrammen dargestellt.
Als Vergleichsparameter dient im Folgenden der flächenäquivalente Kreisdurchmesser, da dieser von jedem der 3 Programme ausgegeben wird und ein repräsentativer Parameter für die Größenverteilung der Pulverpartikel ist.

Nachfolgend soll näher auf die wesentlichen Vergleichsaspekte eingegangen werden.

Darstellung der Aufnahmen:

Die kommerzielle Software von Zeiss ist direkt mit dem Mikroskop vernetzt, was den Vorteil mit sich bringt, dass die recht großen Aufnahmen (1388 x 1040 Pixel) im Programm optimal dargestellt werden. Dies ermöglicht eine große Übersichtlichkeit für die Konfigurierung des Messassistenten, wie z.B. bei der Auswahl der Grauwertschwelle.
Die Partikelanalyse 1 (im Folgenden PA1 genannt) bietet ein verschiebbares Raster, mit dem das gesamte Bild betrachtet werden kann. Das Programm besitzt ebenfalls eine Möglichkeit, die Bilder um bestimmte Faktoren zu verkleinern, was auch zur Übersichtlichkeit bei der Analyse beiträgt.
Die Partikelanalyse 2 (im Folgenden PA2 genannt) bietet keine Möglichkeit, das gesamte Bild zu betrachten. Es ist lediglich möglich, einen kleinen Bereich des Bildes zur Auswahl der Grauwertschwelle heranzuziehen. Der Grund hierfür ist, dass das Programm für die wesentlich kleineren Scanner-Aufnahmen entwickelt wurde.

Bei der Weiterentwicklung der Software sollte eine Möglichkeit gefunden werden, das Bild vollständig betrachten zu können.
Optionen und Dynamik der Einstellungen

Einen wichtigen Vorteil für die Konfiguration der Messmaske sowie der Bestimmung eines geeigneten Schwellwertes ist die dynamische Umsetzung von Änderungen (die Änderungen werden also sofort im Bild dargestellt) an den Bildparametern. Durch diese Dynamik kann sofort beurteilt werden, welchen Einfluss eine Veränderung auf eine Aufnahme hat.
Die Axio Software bietet diese Funktion in allen Einstellungsbereichen und ermöglicht so eine sehr gute Anpassung der Bildparameter.
Weiterhin bietet das Programm eine übersichtliche Bedienung mit vielen Optionen. Veränderungen sind jederzeit korrigierbar und es besteht die Möglichkeit, eine Nachbearbeitung an bereits vorgenommenen Einstellungen vorzunehmen.
Die PA1 bietet ebenfalls den Vorteil einer dynamischen Veränderung der Parameter, auch die Bildverkleinerung erfolgt dynamisch. Jedoch können Veränderungen nicht in jedem Schritt rückgängig gemacht werden. Um eine Einstellung zu verändern, müssen alle Bearbeitungsschritte von neuem durchlaufen werden.
Durch die Aufteilung der Programmfunktionen in verschiedene Formmenüs wirkt das Programm übersichtlich und gut strukturiert.
Bei der PA2 ist ebenfalls eine dynamische Einstellung der Grauwertschwelle möglich. Die Software bietet darüber hinaus die Möglichkeit, den Grauwert durch einen Schiebebalken direkt am Histogramm der Grauwerte zu verstellen, was eine bessere Beurteilung des optimalen Wertes ermöglicht.
Die beiden selbst geschriebenen Programme verfügen über alle wichtigen Optionen, die zur Ausführung einer Analyse nötig sind. Jedoch verfügen sie nicht über die Möglichkeit, die Bildqualität zu verbessern. Da die Aufnahmen des Discovery aber eine auswertbare Qualität besitzen, stellt dies in diesem Fall keinen Nachteil dar.

Manuelle Nachbearbeitungsmöglichkeiten

Bei der Arbeit mit AxioVision kann in den einzelnen Konfigurationsschritten der Messmaske die Option „interaktiv“ gewählt werden. Ist diese Option aktiviert, wird die automatische Auswertung im entsprechenden Menü bei jedem Bild gestoppt und der Bediener hat die Möglichkeit, Nachbesserungen zu treffen. Weiterhin bietet Axio die Möglichkeit, eigene Trennlinien in eine Aufnahme einzuzeichnen oder selber Objekte zu definieren, die ausgewertet werden sollen.

Die Programme PA1 und PA2 verfügen vor dem Hintergrund einer schnellen und möglichst automatisierten Auswertung nicht über diese Nachbearbeitungsmöglichkeiten.

„Löschen von Artefakten“ und „Wasserscheiden“ – zwei wichtige Optionen

Bei AxioVision stellen sich bei der Konfigurierung der Messmaske vor allem die Funktionen „Löschen von Artefakten“ und „Wasserscheiden“ als sehr vorteilhaft heraus. Die Funktion „Löschen von Artefakten“ bietet die Möglichkeit, nur Objekte in einem bestimmten Größenbereich zur Auswertung zuzulassen. Damit wird vermieden, dass sehr kleine Objekte, bei denen es sich meist um feinen Staub oder Verunreinigungen handelt, sowie sehr große Objekte, die durch die Überschneidung der Kanten mehrerer Partikel entstehen, in die Auswertung aufgenommen werden.
Die Funktion „Wasserscheiden“ trennt große Objekte, die durch die Überschneidung der Kanten mehrerer einzelner Partikel entstehen. Das Programm prüft dabei alle Objekte auf eventuelle Übergänge und Kanten und trennt gegebenenfalls die erkannten Objekte.
Diese Funktionen tragen zu einer Verteilung bei, die sich in ihrer Form stark der Gauß-Glocke annähert.
Während die PA1 über eine Funktion verfügt, die kleine Bildpunkte löscht, fehlt eine solche Funktion bei PA2. Das Fehlen wird z.B. in Histogramm 1.3 sehr deutlich. Die Software erkennt hier (sichtbar im linken Diagrammbereich) einen deutlich zu hohen Anteil kleinster Partikel.
Die Funktion „Wasserscheiden“ oder eine vergleichbare Funktion besitzt keines der beiden selbst entwickelten Programme. Da beide Programme die Objekte in einem Binärbild darstellen, können bei der Auswertung auch keine Übergänge zwischen optisch aneinander grenzenden Partikeln erkannt werden.
Ein Vergleich des Histogramm 1.1 mit den Histogrammen 1.2 und 1.3 am Beispiel von Pulver 1 zeigt die auftretenden Abweichungen. Während sich die Ergebnisse von AxioVision auch an den Rändern einer Gauß-Verteilung annähern, weisen die Ergebnisse von Partikelanalyse 1 und 2 deutliche Abweichungen vor allem im kleinen Größenbereich auf.

Funktion „Löcher Füllen“

Durch unterschiedlich starke Lichtreflexionen an den Außenflächen der Pulverpartikel kommt es auf den Aufnahmen des Discovery zu Bereichen im Partikel, deren Grauwert der Umgebung entspricht.

AxioVision füllt komplett umschlossene Bereiche innerhalb eines Partikels aus und bezieht auch diese Anteile mit in die Auswertung.
Bei PA1 und PA2 fehlt eine solche Funktion. Die Partikelfläche wird also oft erheblich zu klein analysiert. Dies führt zu Fehlern in der Auswertung.
Die Funktion „Löcher füllen“ und die daraus resultierenden Fehler werden in Kapitel 5.3.4. näher erläutert.

5.3. Analyseergebnisse der Pulver und Vergleich mit den Herstellerangaben

Die Grundlage für die Beurteilung der Ergebnisse bilden die Histogramme der Größenverteilungen im Anhang [Kap. 7.1]. Der flächenäquivalente Kreisdurchmesser ist charakteristisch für die wahre Größenverteilung der Partikel, deshalb soll sich ein Vergleich hauptsächlich auf diesen Parameter stützen. Weiterhin sind im Anhang auch die Histogramme der Größenverteilung der Halbachsen der flächenäquivalenten Ellipse zu finden.
Die zur Analyse verwendeten Pulver wurden in Kapitel 2.1.1. vorgestellt. Wie dort bereits erwähnt, unterscheiden sich die Pulver 1 bis 4 von den Pulvern 5 und 6. Während die Pulver 1 bis 4 einen Größenverteilungsbereich mit oberer und unterer Grenze aufweisen, handelt es sich bei 5 und 6 um Pulver, die ein breit verteiltes Größenspektrum mit lediglich einer Obergrenze aufweisen. Die Pulver 5 und 6 müssen deshalb getrennt beurteilt werden.

5.3.1. Pulver 1 - ZrO_2-Y_2O_3 - 45 + 22,5 µm

Herstellerangaben:

Größenbereich:	22,5 – 45 µm
Erwartungswert:	µ = 33,75 µm

Verteilungsergebnis:

Analyse-programm	Partikel im Größenbereich des Hersteller	Partikel gesamt	Partikel ohne Artefakte (14 – 48 µm)	im Erwartungsbereich des Herstellers
Axio (H 1.1)	352	433	-	81,29 %
Axio (H 1.1)	352	-	429	82,05 %
PA1 (H 1.2)	222	373	-	59,52 %
PA1 (H 1.2)	222	-	366	60,66 %
PA2 (H 1.3)	247	419	-	58,95 %
PA2 (H 1.3)	247	-	377	65,52 %

Die ermittelten Größenverteilungen für Pulver 1, dargestellt in den Histogrammen 1.1 bis 1.3, nähern sich für alle drei Programme dem Verlauf der Gauß-Funktion an. Die Glockenform ist in allen drei Fällen zu erkennen.

Das Programm AxioVision (H 1.1) ermittelt dabei die deutlichste Glockenform, da der Unterschied in den Häufigkeiten der benachbarten Größenbereiche gleichmäßig steigt oder fällt.
Der maximale Häufigkeitswert liegt bei 29 µm und weicht damit nur gering vom Erwartungswert des Herstellers ab.
Das Ergebnis weist außerdem nur eine geringe Anzahl von sehr großen bzw. sehr kleinen Partikeln auf. Der Grund hierfür ist der Einsatz der Funktionen „Artefakte löschen“ und „Wasserscheiden“, deren Vorteile in Kapitel 5.2.1 beschrieben wurden.
In der ermittelten Größenverteilung liegen zwischen 81 und 82 % der Partikel im Bereich der Herstellerangaben.

Die mit der PA1 (H 1.2) ermittelte Verteilung weicht nur geringfügig von der der AxioVision ab. Die Abstufungen innerhalb der Verteilung sind zwar etwas ungleichmäßiger, nähern sich aber deutlich der Glockenform an. Der Maximalwert liegt bei 25 µm, was bedeutet, dass die Verteilung gegenüber der von AxioVision nach links verschoben ist. Die PA1 erkennt die Objekte also kleiner, das liegt hauptsächlich in der Definition und Einstellung der Grauwertschwelle begründet.
In der Größenverteilung liegen etwa 60 % der Partikel im Bereich der Herstellerangaben, was ebenfalls in der Linksverschiebung der Verteilung begründet liegt.

Die Ergebnisse der PA2 (H 1.3) weisen ebenfalls eine Verteilung auf, die sich der Glockenfunktion annähert. Allerdings wird deutlich, dass die benachbarten Häufigkeiten ungleichmäßiger verteilt sind als bei AxioVision und PA1. Weiterhin fällt auf, dass die PA2 wesentlich mehr besonders kleine Objekte als Partikel erkennt und in die Verteilung aufnimmt (Größenbereich kleiner als 10 µm, links im Histogramm). Hier macht sich das Fehlen einer Bereichseinschränkung für die Erkennung deutlich bemerkbar.
Zieht man alle erkannten Objekte für den Vergleich mit den Herstellerangaben heran, so liegen 59% im angegebenen Bereich. Betrachtet man nur den Bereich zwischen 14 – 48 µm und vernachlässigt somit die Objekte, die durch Schwächen der Analysesoftware auftreten, liegen 65,5% im Bereich der Herstellerangaben.

5.3.2. Pulver 2 - Al_2O_3 - 20 + 5µm

Herstellerangaben:

Größenbereich: 5 – 20 µm
Erwartungswert: µ = 12,5 µm

Verteilungsergebnis:

Analysepro-gramm	Partikel im Größenbereich des Herstellers	Partikel gesamt	Partikel ohne Artefakte	im Erwar-tungsbereich des Herstellers
Axio (H 2.1)	1222	1375	-	88,87 %
PA1 (H 2.2a)	948	1157	-	81,94 %
PA2 (H 2.3a)	938	1153	-	81,35 %

Alle Ergebnisse der drei Programme bei der Analyse von Pulver 2, dargestellt in den Histogrammen 2.1 bis 2.3b, weisen eine Gauß-Verteilung auf.

AxioVision (H 2.1) ermittelt einen maximalen Häufigkeitswert von 16 µm, was über dem Erwartungswert des Herstellers liegt.
Der prozentuale Wert der Partikel, die sich innerhalb der Angaben des Herstellers befinden, liegt mit 89 % sehr nahe an den geforderten 95 %.

Die Ergebnisse der PA1 (H 2.2a) und die PA2 (H 2.3a) sind für dieses Pulver fast identisch. Beide Programme liefern eine Größenverteilung, die nahezu eine perfekte Glockenform erreicht. Der Maximalwerte der Verteilung liegt in beiden Fällen bei 13 und entspricht damit sehr genau dem Erwartungswert des Herstellers.
Der Anteil der Partikel, die im Erwartungsbereich der Glockenkurve liegen, beträgt in beiden Verteilungen etwa 82 %.
Es zeigt sich gerade bei dem kleinsten der Pulver, dass die selbst entwickelten Programme in ihren Ergebnissen mit der kommerziellen Software übereinstimmen und sogar genauere Ergebnisse liefern können.
Ein Grund hierfür könnte sein, dass bei der insgesamt geringen Größe der Partikel wenige Überlagerungen der Kanten zu Stande kommen.

Am Beispiel von Pulver 2 soll der Einfluss der Wahl der Grauwertschwelle demonstriert werden. Vergleicht man die Histogramme 2.2a und 2.3a (Schwellwert 200) mit 2.2b mit 2.3b (Schwellwert 163), wird deutlich, dass sich bei einer zu geringen Grauwertschwelle die Größenverteilung nach links verschiebt.

Die Ursache hierfür liegt darin, dass bei einer geringeren Schwelle weniger Bildpunkte der Aufnahmen dem Partikel zugeordnet werden (vgl. Abb. 5.7 a-c).
Die Gesamtfläche des Partikels wird somit reduziert, je geringer die Schwelle gewählt wird. Wenn sich die Fläche verringert, führt dies zu einer Verkleinerung des flächenäquivalenten Kreisdurchmessers und somit zur Verschiebung der Größenverteilung.
Das Beispiel zeigt, dass die bei der Auswertung oft auftretenden Abweichungen der Verteilungen nach links, besonders bei PA1 und PA2, hauptsächlich in der Wahl des Schwellwertes begründet sind.

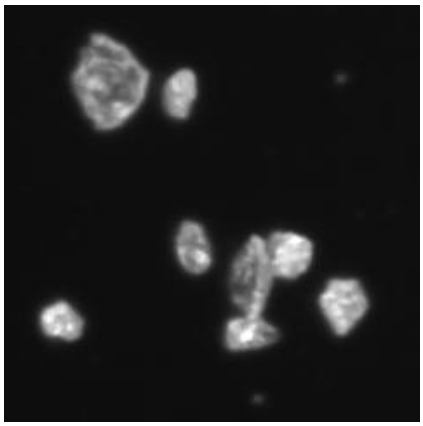


Abb. 5.7a: Originalbild

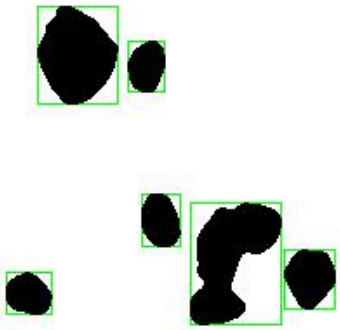


Abb. 5.7b: Binärbild SW 200

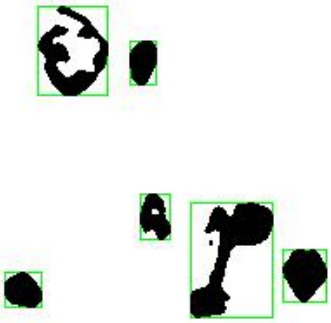


Abb. 5.7c: Binärbild SW 130

5.3.3. Pulver 3 - Al_2O_3 - 45 + 5,6 µm

Herstellerangaben:

Größenbereich:	5,6 – 45 µm
Erwartungswert:	µ = 25,3 µm

Verteilungsergebnis:

Analyseprogramm	Partikel im Größenbereich des Herstellers	Partikel gesamt	Partikel ohne Artefakte	im Erwartungsbereich des Herstellers
Axio (H 3.1)	790	790	-	100 %
PA1 (H 3.2a)	653	747	-	87,42 %
PA2 (H 3.3a)	715	874	-	81,81 %

Bei der Analyse von Pulver 3 nähert sich die Größenverteilung, die das Programm AxioVision (H 3.1) ermittelt, wieder der Gauß´schen Glockenkurve an.
Auffällig ist jedoch, dass der Maximalwert mit etwa 19 µm deutlich vom Erwartungswert des Herstellers abweicht.
Mit einem prozentualen Wert von 100% liegen alle gefundenen Partikel im 95% - Erwartungsbereich des Herstellers. Dieser Wert zeigt, dass die Sensitivität der Grenze für das Löschen von Artefakten nicht optimal eingestellt wurde. Die Untergrenze des Pulvers liegt bei 5,6 µm. Die kleinsten von AxioVision in die Auswertung einbezogenen Objekte weisen eine Größe von 10µm auf. Der feine Pulveranteil wurde bei der Analyse also vollständig vernachlässigt.
Das Beispiel zeigt, dass die vielfältigen Funktionen von AxioVision nur funktionieren, wenn die Parameter optimal eingestellt sind. Die optimale Einstellung dieser Parameter ist jedoch bei aller Sorgfalt nicht immer möglich.

Die Ergebnisse der PA1 (H 3.2a) und PA2 (H 3.3a) entsprechen nur bedingt einer Gauß-Verteilung. Durch den übermäßig hohen Anteil kleiner Objekte wird das Ergebnis deutlich verfälscht. Zur besseren Darstellung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde so eine Anpassung des Darstellungsbereiches nötig (Histogramm 3.2b und 3.3b).
Der Maximalwert liegt in beiden Fällen deutlich vom Erwartungswert entfernt.
Die deutliche Abweichung der Ergebnisse lässt sich erklären, wenn man die verwendeten Aufnahmen von Pulver 3 noch einmal betrachtet. Es ist deutlich zu erkennen, dass Pulver 3 aufgrund seines breiten Größenbereiches einen hohen Anteil kleiner Partikel in der Größenordnung von etwa 5 – 6 µm aufweist. Außerdem ist auch erkennbar, dass die Zahl der kleinsten Partikel, unter 5 µm, ebenfalls groß ist. Es könnte sich hierbei vielleicht um Fehler in der Präparation handeln oder um eine ungünstige Auswahl des Aufnahmebereiches.
Die Auswirkungen des Feinanteils in Pulver 3 können erst bei einer Serie von erheblich mehr als 10 Aufnahmen sicher belegt werden.
Für diese intensivere Untersuchung wurde am Institut eine weiterführende Studienarbeit vergeben.

5.3.4. Pulver 4 - Al_2O_3 - 90 + 45 µm

Herstellerangaben:

Größenbereich: 45 – 90 µm
Erwartungswert: µ = 67,5 µm

Verteilungsergebnis:

Analysepro-gramm	Partikel im Größenbereich des Herstellers	Partikel gesamt	Partikel ohne Artefakte	im Erwar-tungsbereich des Herstellers
Axio (H 4.1)	141	177	-	79,66 %
PA1 (H 4.2)	83	118	-	70,34 %
PA2 (H 4.3)	123	199	-	61,81 %

Die Größenverteilung, die die Programme für Pulver 4 analysiert haben, ist deutlich zerklüftet. Der Größenbereich streut sehr weit und es treten viele Artefakte auf. Diese Effekte resultieren mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der Größe der Einzelpartikel. Zunächst ist sichtbar, dass sehr wenige Partikel pro Aufnahme erfasst werden. Bei einer Auswertung von 10 Aufnahmen kann hier kaum eine wirklich repräsentative Aussage getroffen werden. Auch hier wird auf die Ergebnisse der weiterführenden Studienarbeit verwiesen.
Die Größe der Partikel begründet auch die große Anzahl der erkannten Objekte, die in einem Bereich größer als 100µm liegen. Werden bei einem Pulver dieser Größenordnung mehrere Partikel durch Überlappung der Kanten als ein Objekt zusammengefasst erkannt, so vergrößert sich die Fläche im Vergleich zu einem Pulver geringerer Größe um ein Vielfaches.
Gerade bei PA2 (H 4.2) wird ein bei der Auswertung beobachteter Effekt deutlich. Die beiden selbst entwickelten Programme erkennen nämlich häufig auch Partikel, die sich nicht an den Kanten berühren, aber trotzdem eng nebeneinander liegen als Gesamtobjekt.
Dieser Fehler tritt bei AxioVision nicht auf und ist auf den Algorithmus zur Auffindung von Partikeln im Binärbild von PA1 und PA2 (H 4.2) zurückzuführen. Sobald sich die Kanten der grünen Vierecke, welche die gefundenen Objekte umranden, überschneiden, werden zwei einzelne Partikel zu einem Objekt zugeordnet (vgl. Abb. 5.8 a-c).

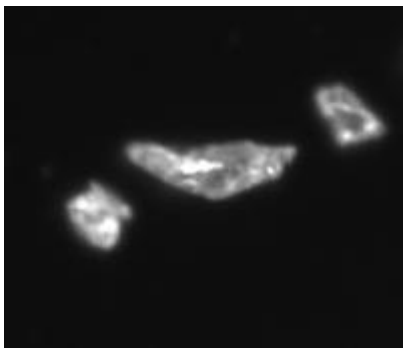


Abb. 5.8a: Originalbild

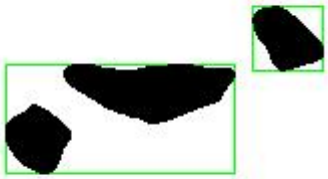


Abb. 5.8b: Binärbild SW200

Abb. 5.8c: Binärbild SW140

Beim Ergebnis von PA1 (H 4.1) fällt auf, dass ein großer Anteil kleiner Partikel gefunden wurde. Dieser Effekt könnte ebenfalls aus der Größe der Partikel resultieren. Die großen Partikel dieses Pulvers reflektieren das Auflicht des Mikroskops durch die großen und verschieden ausgerichteten Flächen innerhalb eines zusammenhängenden Objektes unterschiedlich stark. Dies führt zu Unterschieden in der Helligkeit der Aufnahmen innerhalb geschlossener Partikelkanten. Das heißt, es treten auf der Aufnahme dunkle Bereiche im einzelnen Partikel auf, deren Grauwert oft der Umgebung entspricht. Ein solches Partikel wird, je nach Schwellwert, meist nicht korrekt erkannt und viele Bildpunkte werden bei der Binärisierung der Umgebung zugeordnet, es entstehen zerklüftete Partikel (vgl. Abb. 5.9 a u. b). Die erkannte Fläche dieser unvollständigen Partikel ist natürlich kleiner als die Fläche der realen Partikel. Die kleinere Fläche begründet einen kleineren flächenäquivalenten Durchmesser.

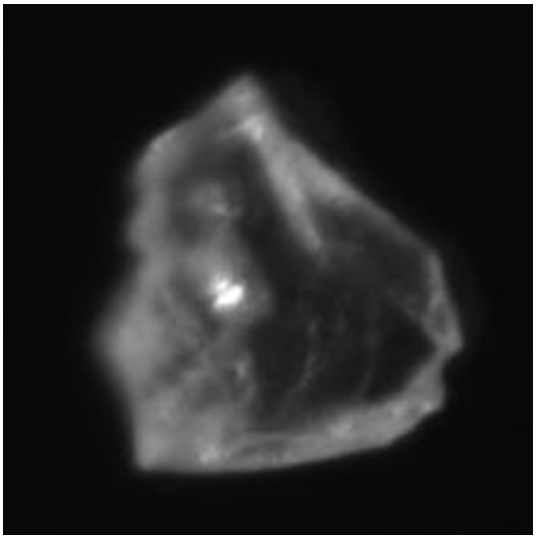


Abb. 5.9a: Originalbild

Abb. 5.9b: Binärbild SW180

Die Reflektionseigenschaften der Partikel verursachen aber noch eine weitere Fehlerquelle bei den selbst entwickelten Programmen PA1 und PA2. Während die Funktion „Löcher füllen“ bei AxioVision umschlossene Bereiche im Partikel dem Objekt zuordnet (vgl. Abb. 5.10 c u. d) und so die Gesamtfläche ausgewertet wird, verfügen die beiden Programme nicht über eine Funktion, die komplett umschlossene weiße Flächen im Partikel, so genannte Löcher, auffüllt und die Pixel dem Objekt zuordnet (Abb. 5.10b). Da zur Flächenbestimmung des Partikels im grünen Erkennungsviereck nur die schwarzen Pixel addiert werden, führt dies natürlich zu Fehlern in der Größenbestimmung.

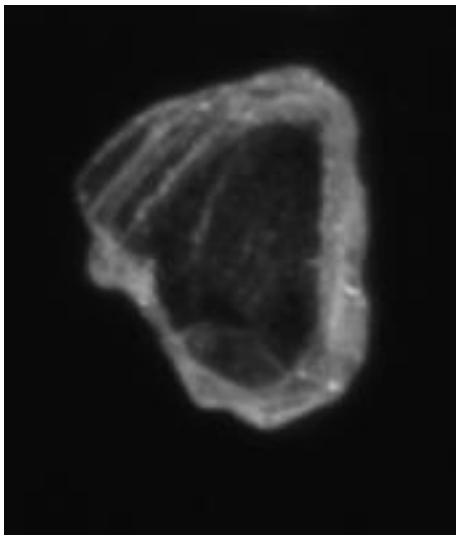


Abb. 5.10a: Originalbild

Abb. 5.10b: Binärbild SW200 (PA1)

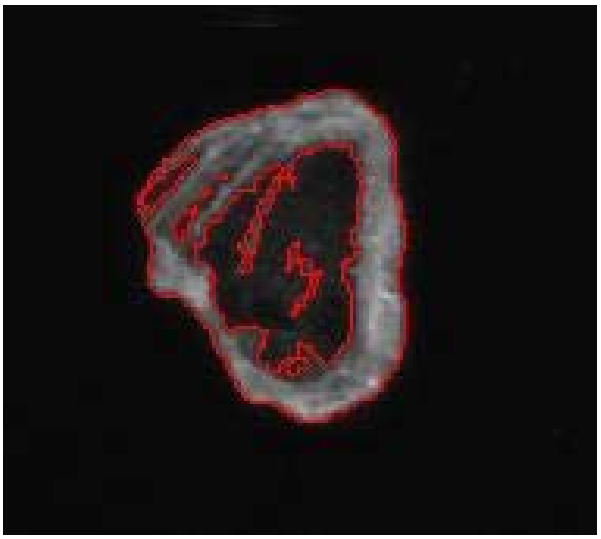


Abb. 5.10c: Axio Vision Analyse ohne “Löcher Füllen”

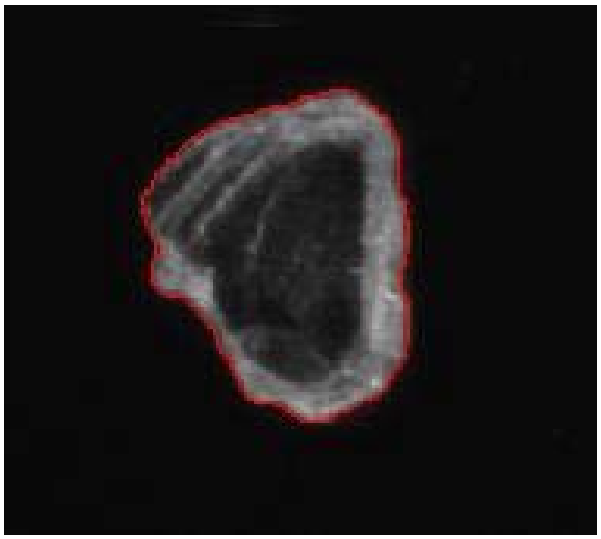


Abb. 5.10d: : Axio Vision Analyse mit “Löcher Füllen”

5.3.5. Pulver 5 - Al_2O_3 < 250 µm

Herstellerangaben:

Größenbereich: < 250 µm

Verteilungsergebnis:

Analyseprogramm	Partikel im Größenbereich des Herstellers	Partikel gesamt	Partikel ohne Artefakte	im Erwartungsbereich des Herstellers
Axio (H 5.1)	1639	1639	-	100 %
PA1 (H 5.2)	671	671	-	100 %
PA2 (H 5.3)	984	989	-	99,49 %

Bei Pulver 5 handelt es sich um ein Pulver, das keine untere Grenze aufweist. Als Folge dessen verteilt sich das Pulver über einen breiten Größenbereich.
Bei allen drei Analyseprogrammen ist keine klare Gaußverteilung erkennbar, die Großzahl der Partikel verteilt sich im Größenbereich bis 30 µm, im größeren Bereich fallen die Häufigkeiten ab.
Auffällig ist, dass keine Partikel im Bereich < 2 µm detektiert wurden, obwohl diese laut Hersteller durchaus vorhanden sein müssten. Zum einen ist hier sicherlich die Grenze der Auswertungssoft- und Hardware erreicht, zum anderen begründet sich das Fehlen aber auch auf die Auswahl des Schwellwertes. Nur bei sehr hohem Schwellwert werden auch einzelne Bildpunkte der Aufnahmen (entsprechen Partikeln im Größenbereich um 1 – 2 µm) vom Programm erkannt und ausgewertet. Ein Schwellwert im dafür nötigen Größenbereich würde allerdings große Erkennungsfehler im übrigen Bildbereich zur Folge haben.
Die Verteilung der Pulver kann aus verschiedenen Problemen resultieren. Ein Hauptproblem ist die Kantenschärfe der einzelnen Partikel. Da das Stereomikroskop nur bestimmte Bildebenen scharf darstellen kann, werden bei einem Pulver mit großem Verteilungsspektrum einige Kanten nur unscharf dargestellt. Richtet man den Fokus auf die großen Partikel im Objektraum, erscheinen die Kanten der in einer anderen Ebene befindlichen kleineren Partikel unscharf [siehe Abb. 5.3]. Diese Unschärfe führt zu Fehlern in der Auswertung.
Eine weitere Fehlerquelle begründet sich in der Präparation der Pulverproben. Beim Verteilen der Partikel auf dem Objektträger haften die kleinen Partikel wesentlich stärker an der Oberfläche des Glasplättchens als die großen.

Es besteht die Gefahr, dass viele große Partikel vom Objektträger rutschen und ein nicht repräsentatives Übergewicht an kleinen Partikeln auftritt [siehe auch Kap. 3.1].
Bei einem breit verteilten Pulver ist es darüber hinaus schwer, einen Bildbereich für Aufnahmen zu finden, der für die Software auswertbar ist und gleichzeitig Partikel aus jedem Größenbereich in die Auswertung einbringt. Dies kann durch Auswertung von erheblich mehr Aufnahmen ausgeglichen werden.
Aufgrund der angesprochenen Fehler und der breiten Größenverteilung befinden sich bei AxioVision (H 5.1), als auch bei PA1 (H 5.2) und PA2 (H 5.3) nahezu 100 % der Partikel in den vom Hersteller angegebenen Grenzen.
Diese Tatsache begründet auch den verhältnismäßig günstigen Preis dieser Pulvervarianten.
Da die Pulver kaum eine sichere Aussage über ihre Größenverteilung zulassen, sind sie für eine Pulveranalyse, die Aussagen über das Pulver vor und nach dem Spritzvorgang liefern soll, nicht optimal geeignet.

5.3.6. Pulver 6 - Al2O3 < 150 µm

Herstellerangaben:

Größenbereich: < 150 µm

Verteilungsergebnis:

Analyseprogramm	Partikel im Größenbereich des Herstellers	Partikel gesamt	Partikel ohne Artefakte	im Erwartungsbereich des Herstellers
Axio (H 6.1)	1298	1302	-	99,69 %
PA1 (H 6.2)	897	897	-	100 %
PA2 (H 6.3)	722	733	-	98,50 %

Bei Pulver 6 handelt es sich wie bei Pulver 5 um ein breit verteiltes Pulver ohne untere Grenze in der Größenverteilung.
Die Verteilungshäufigkeiten konzentrieren sich ebenfalls im kleineren Größenbereich bis etwa 30 µm.
Auch hier liegen nahezu 100 % der erkannten Partikel im angegebenen Größenbereich des Herstellers.
Die Begründung für diese Verteilung sowie die auftretenden Fehler entsprechen den in Kap. 5.3.5 beschriebenen.

5.4. Eignung der Auswerteprogramme zur Partikelanalyse

Die Auswertung der Aufnahmen und Ergebnisse hat gezeigt, dass alle Programme zur Analyse von Spritzpulvern nach den Vorgaben des Institutes grundsätzlich geeignet sind. Es bestehen jedoch Unterschiede in den Einstellungsmöglichkeiten und Funktionen der Programme.
AxioVision ist sicherlich das Programm, welches die meisten Einstellungsmöglichkeiten bietet und alle wichtigen Funktionen für die Partikelanalyse besitzt. Die Vielzahl von Einstellungsmöglichkeiten bei den einzelnen Funktionen erfordert aber auch einen Mehraufwand an Zeit, denn nur wenn die Parameter mit der nötigen Sensibilität eingestellt wurden, wirken sich die Funktionen positiv auf das Analyseergebnis aus.
Die Software wurde für ein breites Feld von Anwendungen in der mikroskopgestützten Diagnostik entwickelt und ist deshalb nicht optimal auf die Partikelanalyse und die dafür notwendigen Optionen ausgerichtet und begrenzt. Außerdem ist AxioVision als kommerzielle Software im Quellcode nicht einsehbar und so bleibt der genaue Funktionsablauf mancher Funktionen verborgen. Gerade für die Ursachenforschung der auftretenden Fehler ist es ein großer Nachteil, die Funktionsweise, wie etwa der Funktion „Wasserscheiden“, nicht vollständig nachvollziehen zu können.

Die selbst entwickelten Programme PA1 und PA2 sind speziell für die Anforderungen der Partikeldiagnostik entwickelt worden. Sie enthalten daher nur die wichtigsten Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten, um auch eine möglichst schnelle Auswertung zu garantieren. Die Programme wurden bisher nur zur Analyse von „heißen“ (also bereits durch den Plasmastrahl aufgeschmolzenen) Partikeln verwendet und sind auch auf die Aufnahmen der dort verwendeten Messgeräte ausgerichtet. Da die gelieferten Bilder etwa einer Hochgeschwindigkeitskamera erheblich kleiner waren und auch immer nur ein Partikel pro Bild aufgenommen wurde, ergeben sich für die Untersuchung „kalter“ Partikel einige Möglichkeiten der Weiterentwicklung.
Es hat sich gezeigt, dass es sinnvoll wäre, die beiden Programme mit einer Funktion auszurüsten, die auftretende Löcher in den Partikeln füllt. Auch die größenabhängige Einschränkung des Erkennungsbereiches von Partikeln, um sehr große oder sehr kleine Objekte von der Analyse auszuschließen, würde eine erhebliche Verbesserung der Ergebnisse mit sich bringen. Besonders im Fall der PA2 wird das deutlich. Bei einer solchen Funktion ist es darüber hinaus von Vorteil, wenn die obere und untere Grenze des Erkennungsbereiches individuell vom Benutzer ausgewählt werden kann.

Die Entwicklung einer Funktion, ähnlich der Funktion „Wasserscheiden“ bei AxioVision, würde, gemessen am Aufwand für die Programmierung, nicht die gewünschte Verbesserung erzielen. Da die Entwicklung einer solchen Funktion sehr kompliziert ist und sich der Bereich offensichtlich zu großer Partikel bei der Betrachtung der Histogramme oft leicht feststellen lässt, lohnt sich eine Einbindung dieser Option eher nicht.
Darüber hinaus arbeitet auch die Funktion „Wasserscheiden“ bei AxioVision oft unpräzise, da die Einstellung der Toleranz nicht für alle Bereiche des Bildes den gewünschten Effekt bei der Objekttrennung erzielt.

5.5. Oberflächenbetrachtung der Partikel mit Hilfe von REM- Aufnahmen

Wie schon in Kapitel 5.1 erwähnt, eignen sich die Aufnahmen mit dem REM nicht zur Analyse der Parameter eines Partikels. Es besteht zwar die theoretische Möglichkeit die Partikel auf den Aufnahmen per Hand mit der entsprechenden Funktion in Axio Vision zu vermessen, dies entspricht aber nicht dem Anforderungsbild.
Die Aufnahmen des REM können aber beispielsweise für die folgenden Untersuchungen herangezogen werden:

Untersuchung der Partikeloberfläche und der Bruchstruktur:

Die Aufnahmen des REM bieten eine hervorragende Möglichkeit, die Beschaffenheit und Eigenschaften der Partikeloberfläche genau zu untersuchen.
Die Abbildung 5.11 zeigt zwei Partikel von Pulver 4. Die Kanten der Partikel sowie das Oberflächenrelief können sehr genau betrachtet werden.

Weiterhin erkennt man die Bruchstrukturen sehr gut, die durch den Zerkleinerungsprozess in den Mühlen entstehen.
Die Oberflächen der großen Partikel in Abbildung 5.12 weisen deutliche Bruchspuren und ein Oberflächenrelief, entstanden durch Sieb- und Mahlvorgänge, auf.

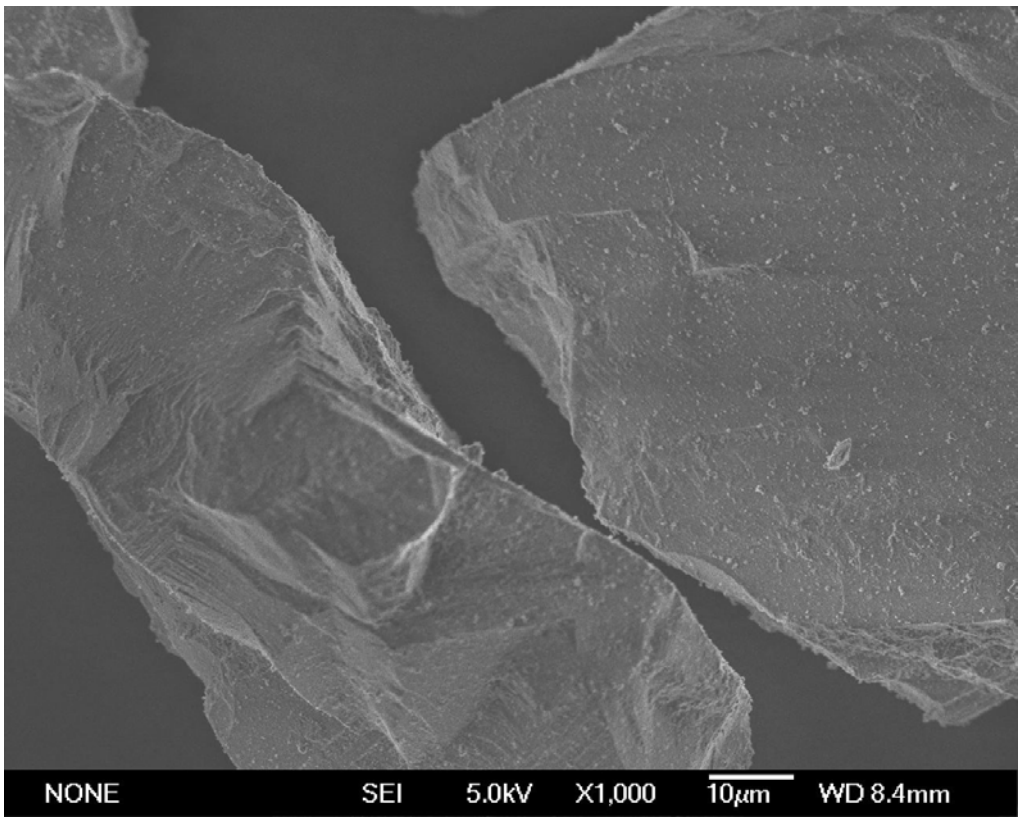


Abb. 5.11: Aufnahme der Partikeloberfläche von Pulver 4
(1000fache Vergrößerung)

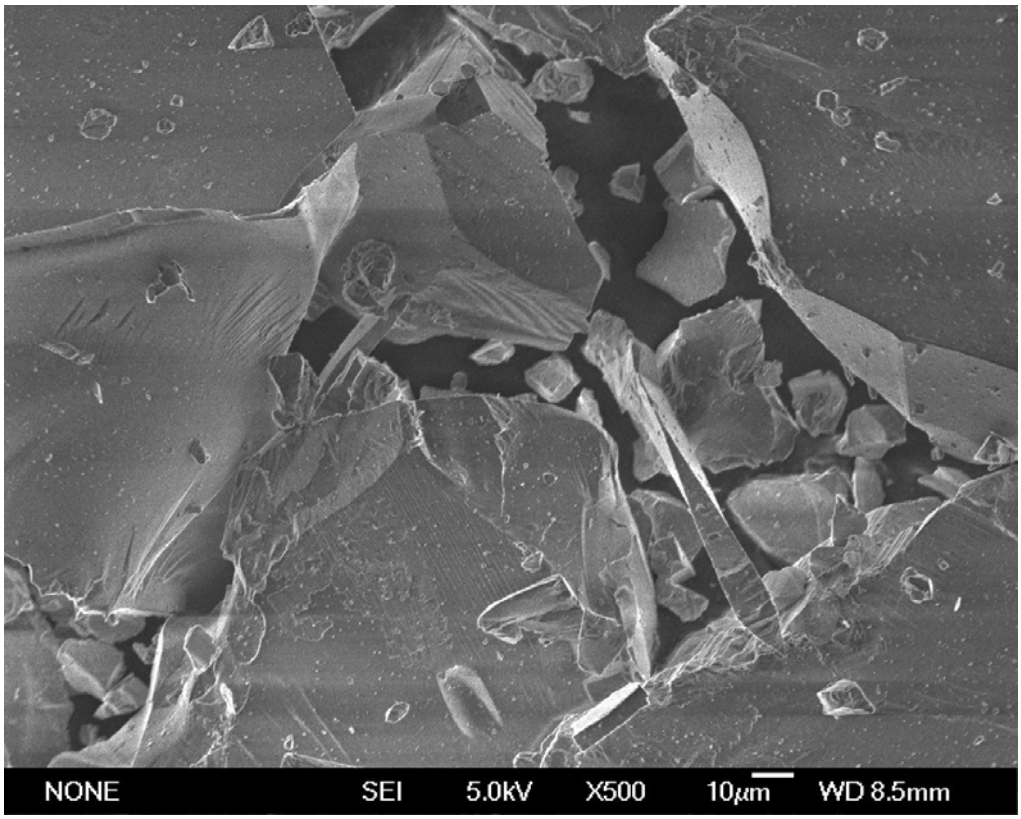


Abb. 5.12: Bruchspuren und Oberflächenrelief der Partikel
(Pulver 6, 500fache Vergrößerung)

Aussage über den Aufschmelzgrad

Das Rohpulver wird beim thermischen Spritzen, wie schon in Kapitel 1 beschrieben, von einem Plasmastrahl aufgeschmolzen. Die Partikel nehmen nach dem Aufschmelzen die energetisch günstigste Form an und werden rund bzw. tropfenförmig. Mit den unterschiedlichen Randbedingung eines solchen Vorganges, wie beispielsweise der am Brenner anliegenden Leistung, oder der Menge zugeführten Gases, verändert sich der Aufschmelzgrad des verspritzten Pulvers. Der Aufschmelzgrad ist ein wichtiges Qualitätskriterium bei der Beurteilung des Spritzvorganges. Je höher der Anteil an geschmolzenen Partikeln im Pulver nach dem Durchlaufen des Plasmas ist, desto größer ist der Aufschmelzgrad und desto bessere Qualität weist der Spritzvorgang auf.
Mit den Aufnahmen eines REM ist es möglich, eine Aussage über den Aufschmelzgrad in einem Pulver zu treffen.
In Abbildung 5.13 erkennt man zwischen den großen Partikeln auch kleinere Partikel. Die kleinen Partikel weisen eine runde Form auf, was zweifelsfrei erkennen lässt, dass sie vom Plasmastrahl aufgeschmolzen wurden. Aufgrund des geringen Aufschmelzgrades lässt sich schlussfolgern, dass zu wenig Energie vom Plasma an das Pulver abgegeben wurde. Die Folge: Nur die kleinen Partikel wurden aufgeschmolzen. Bei den größeren Partikeln lässt sich nur an den abgerundeten Kanten eine teilweise Aufschmelzung feststellen.
Das Pulver in Abbildung 5.13 wurde mit einem älteren Modell, dem F4-Plasmabrenner, gespritzt. Vergleicht man die Aufnahme mit Abbildung 5.14 wird deutlich, dass hier ein wesentlich höherer Aufschmelzgrad erreicht wurde. Das Pulver wurde mit dem wesentlich leistungsfähigeren Triplex II Brenner gespritzt, dessen Wirkungsgrad sehr viel höher ist als der des F4.

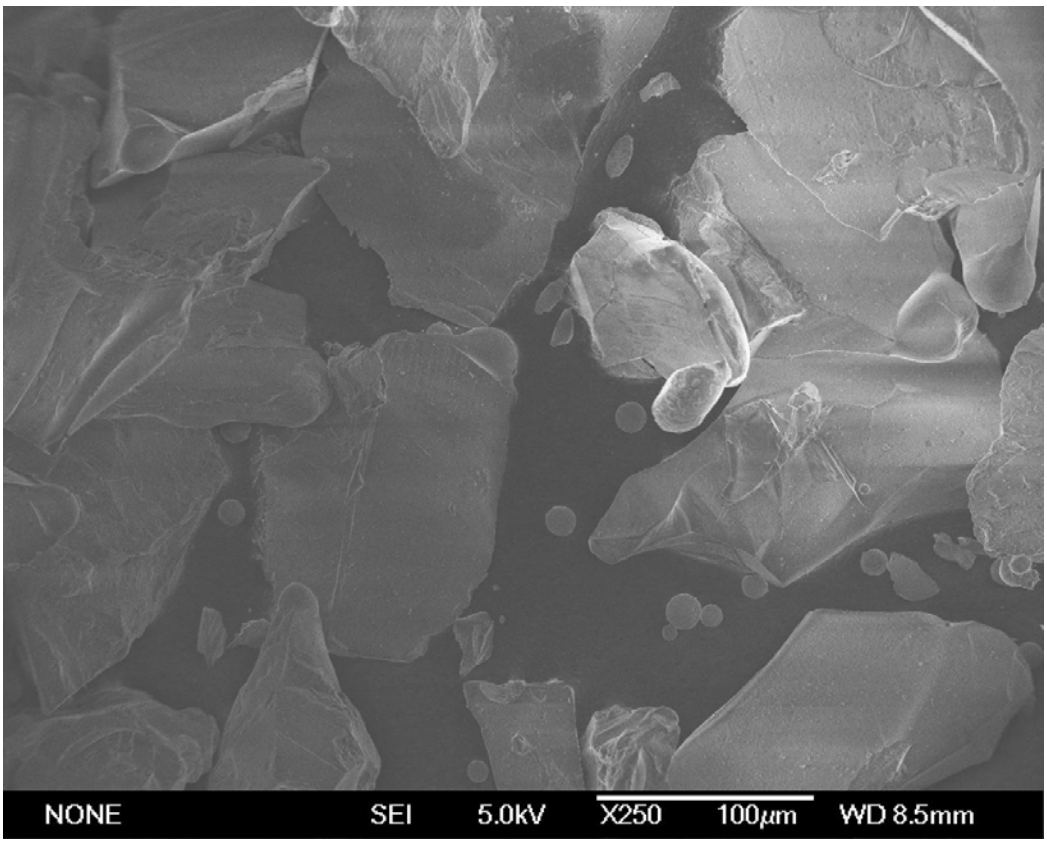


Abb. 5.13: Pulver 4 gespritzt mit dem F4-Plasmabrenner (250fache Vergrößerung)

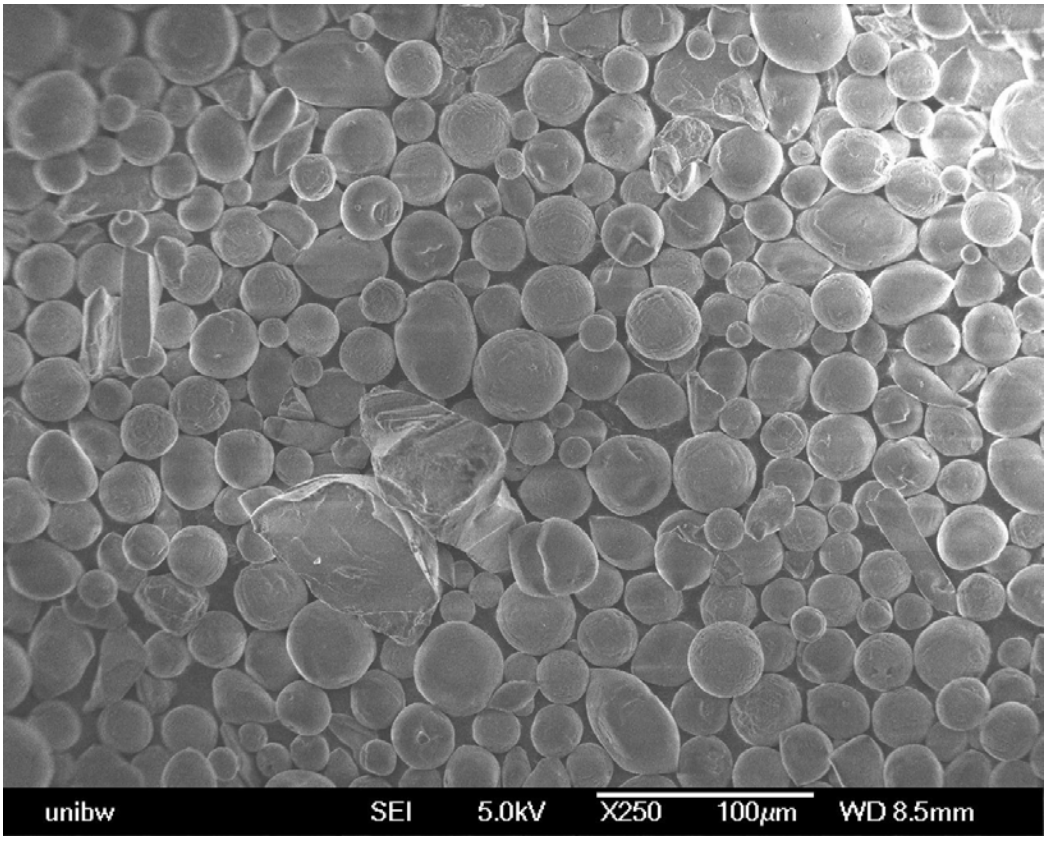


Abb. 5.14: Pulver 5 gespritzt mit dem Triplex II (250fache Vergrößerung)

Neben der Aussage über den Aufschmelzgrad lassen sich mit Hilfe der Aufnahmen natürlich auch aufgeschmolzene mit „rohen“ Partikeln, im Hinblick auf Oberflächeneigenschaften und Form, vergleichen.

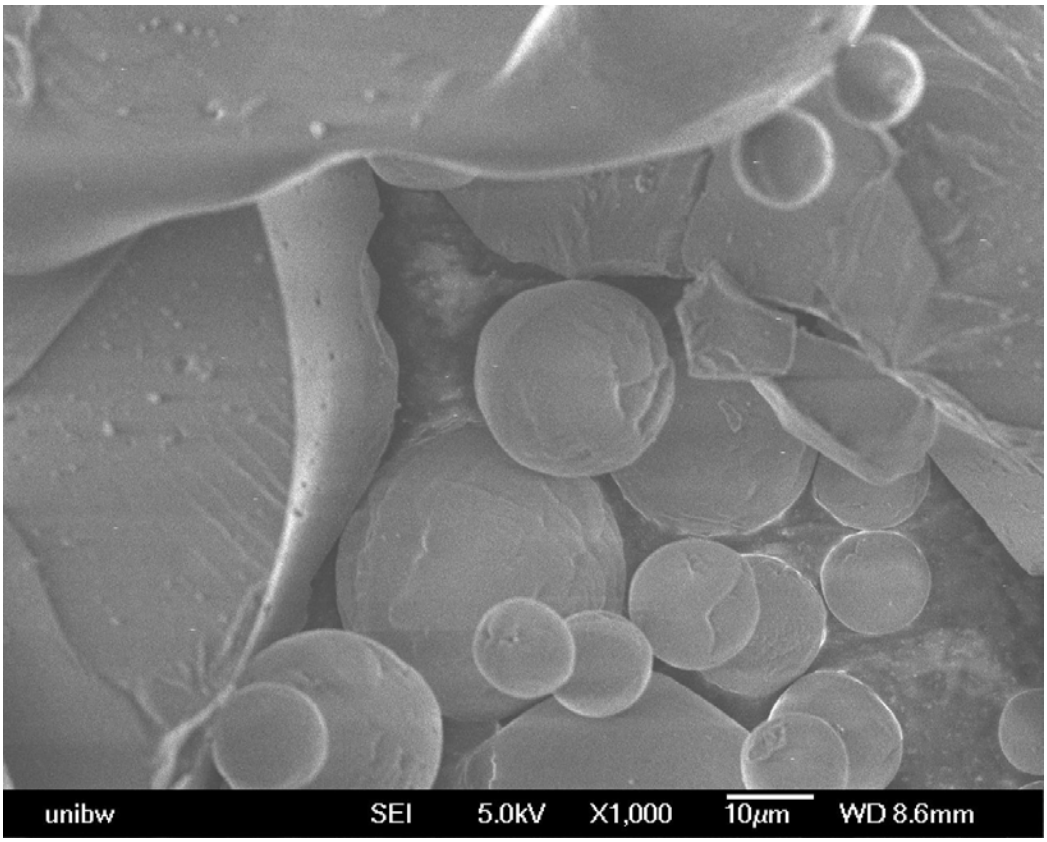
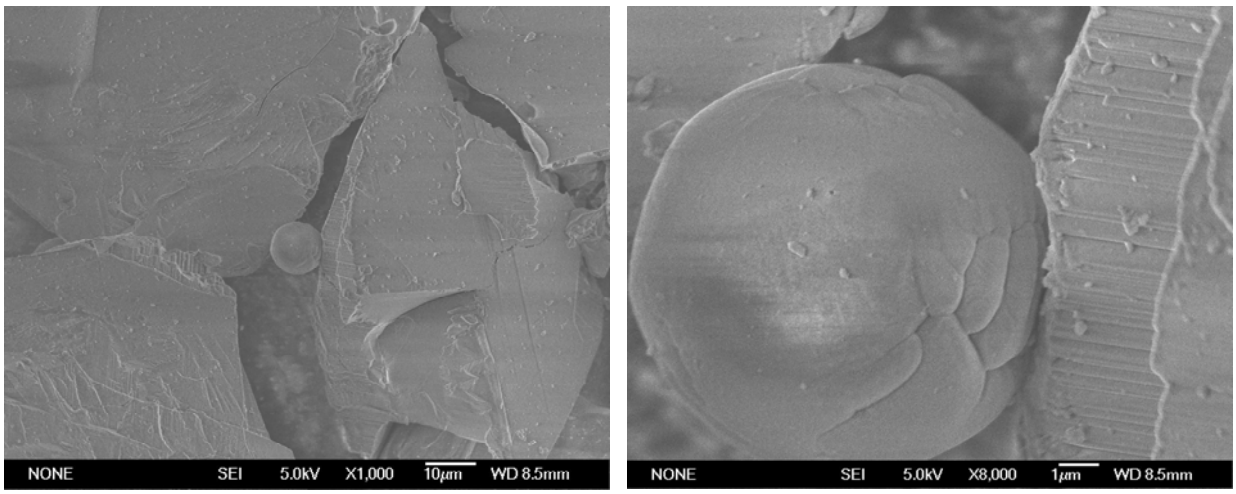


Abb. 5.15: aufgeschmolzene Partikel neben „rohen“ Partikeln
(Pulver 5, 1000fache Vergrößerung)



a: 1000fache Vergrößerung b: 8000fache Vergrößerung

Abb. 5.16: geschmolzenes Partikel zwischen Rohpulver (Pulver 4)

Verlässt das Partikel den Plasmastrahl bevor es vollständig aufgeschmolzen wurde, entstehen sogenannte Agglomerate. Die Energiezufuhr hat bei diesen Gebilden nicht ausgereicht um sie vollständig aufzuschmelzen. Das Partikel kühlt als „zusammengeballte“ Anhäufung von kleineren Partikelteilen aus.
In Abbildung 5.17 ist ein solches Agglomerat beim Spritzen von Pulver 4 entstanden. Abbildung 5.18 bietet einen Blick auf die Oberfläche des Agglomerats.

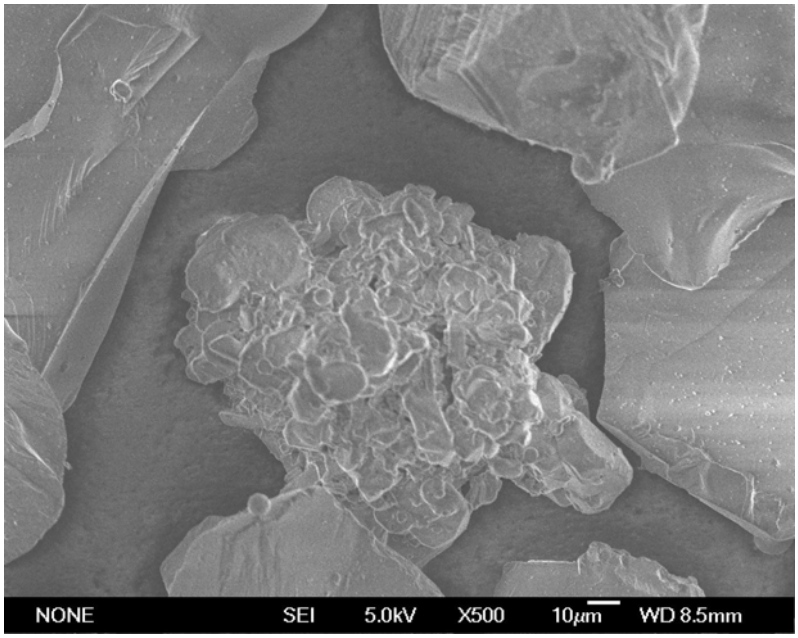


Abb. 5.17: ausgekühltes Agglomerat (Pulver 4, 500fache Vergrößerung)

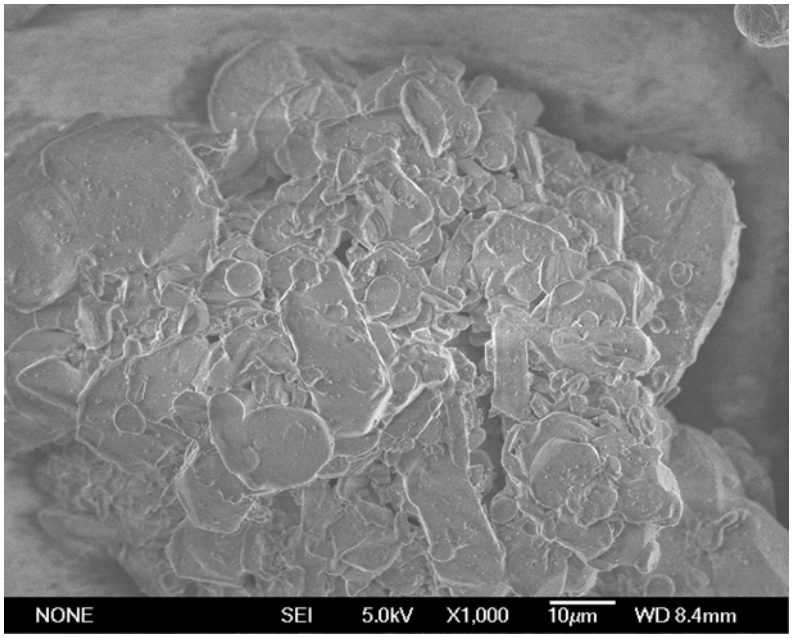


Abb. 5.18: Anhäufung von Partikelteilen zum oben abgebildeten Agglomerat (1000fache Vergrößerung)

Verteilung der Partikel im Pulver

Auf den Aufnahmen des REM, kann die Verteilung des Pulvers gut abgeschätzt werden. In Abbildung 5.19 erkennt man sehr genau den Größenunterschied, welcher gerade bei den Pulvern 5 und 6 sehr groß ist, der verschiedenen Partikel.

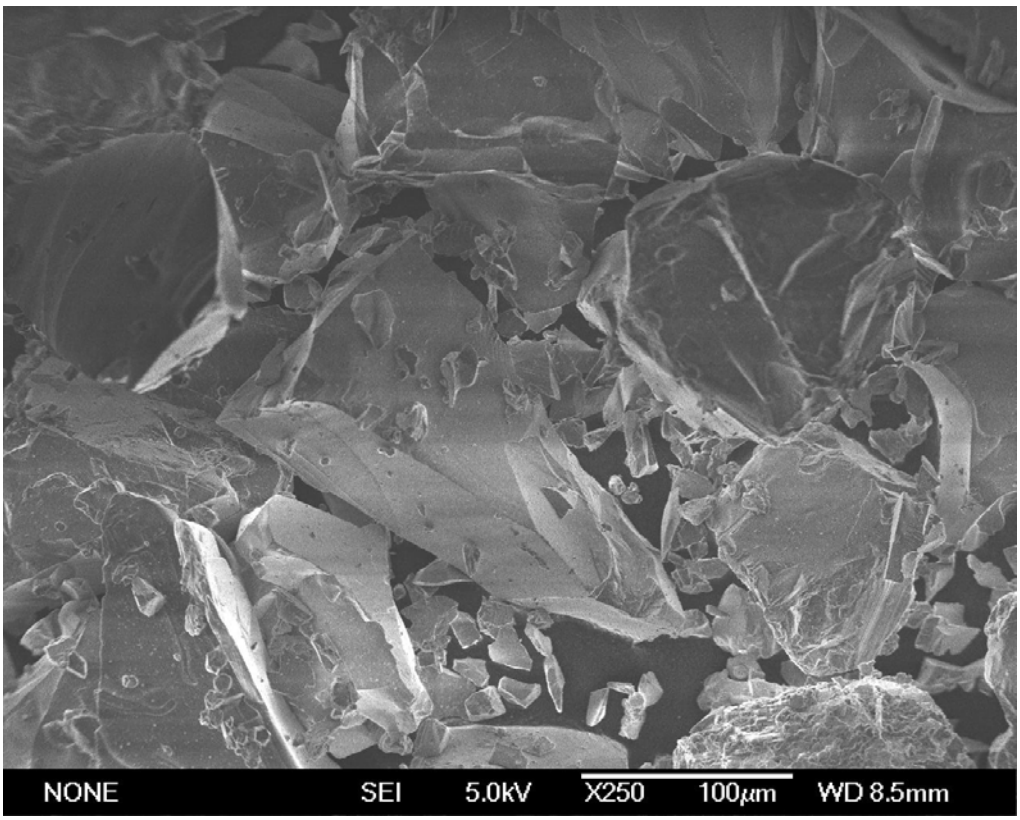


Abb. 5.19: Aufnahme zu Übersicht über die Partikelverteilung im Pulver (Pulver 5, 250fache Vergrößerung)

Betrachtung feinster Partikel und Staubkörner

Das REM weist bei hohen Vergrößerungsstufen immer noch eine sehr gute Tiefenschärfe auf. So können auch die feinsten Staubkörner, die an den großen Partikeln haften und neben dem Zerkleinerungsprozess auch noch beim Sieben der Partikel entstehen, sehr genau betrachtet werden.

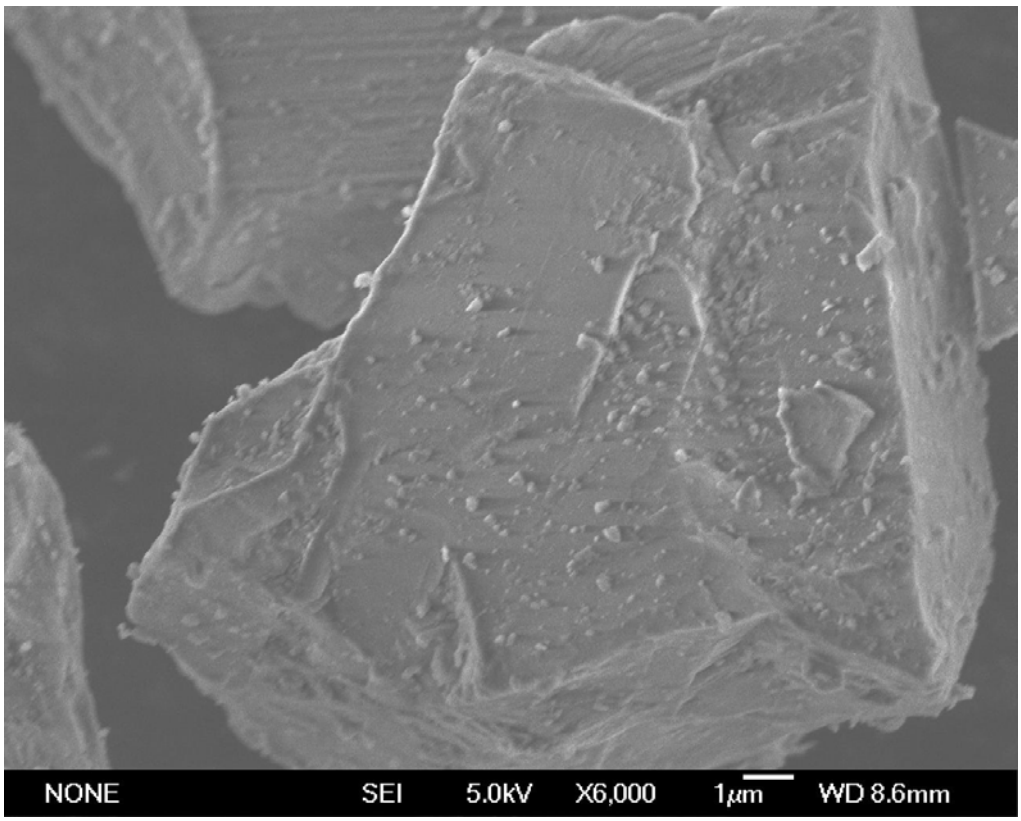


Abb. 5.20: feinste Staubteilchen haften an der Oberfläche der Partikel
(Pulver 4, 6000fache Vergrößerung)

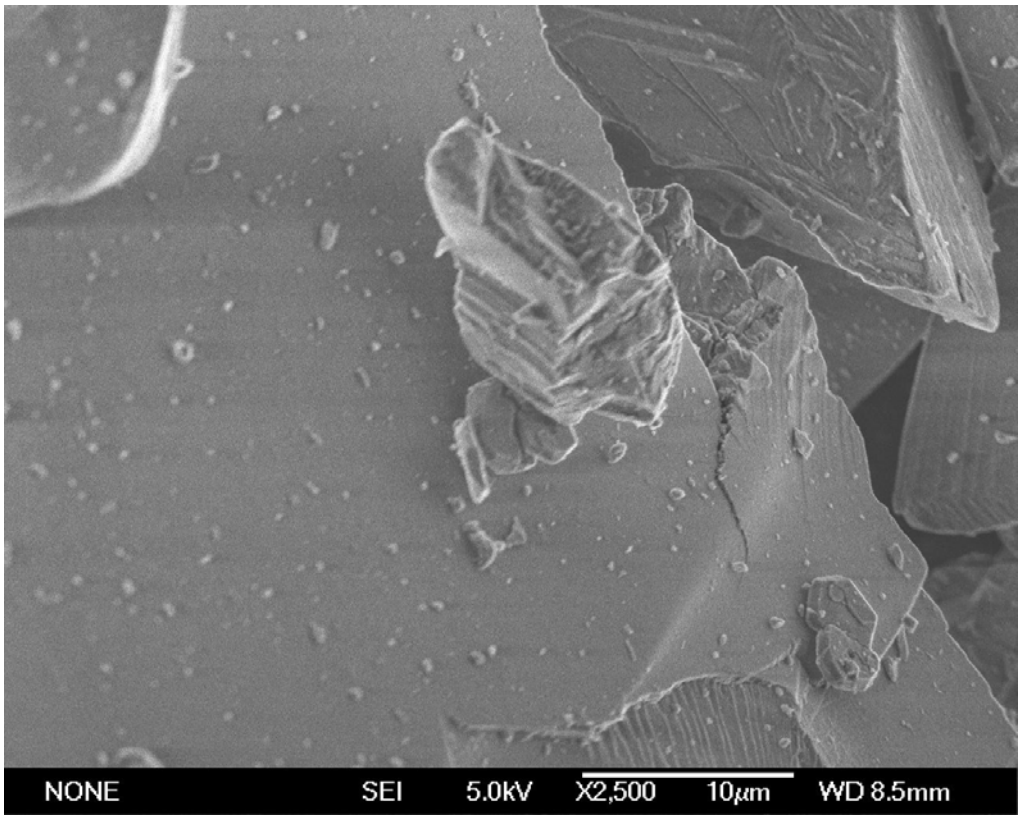


Abb. 5.21: Oberfläche eines Partikels mit Staubteilchen
(Pulver 4, 2500fache Vergrößerung)

6. Schlussbetrachtung und Ausblick

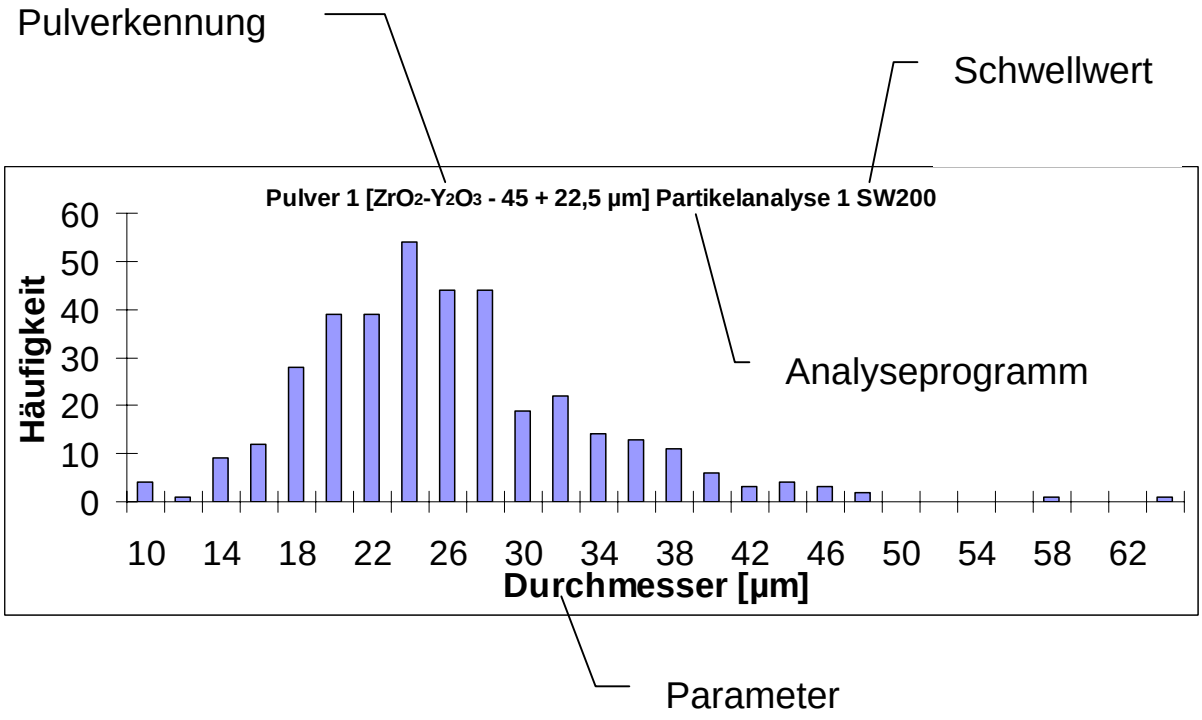
Die Ergebnisse zeigen, dass die vorhandene Software gut geeignet ist um eine Voruntersuchung an Pulverpartikeln durchzuführen. Besonders die Anschaffung des Discovery Mikroskop war in dieser Hinsicht eine maßgebliche Verbesserung. Für weitere Analysen, besonders im Bereich hoher Vergrößerungen, kann auch das Rasterelektronenmikroskop genutzt werden.
Bei den Arbeiten an der Diplomarbeit stellte sich die Einstellung der Grauwertschwelle immer wieder als entscheidendes Kriterium jeder Analyse heraus. Die Grauwertschwelle ist für die Detektion der einzelnen Partikel von großer Bedeutung und muss sehr sorgfältig gewählt werden. Schon eine kleine Änderung dieser sensiblen Schwelle kann eine Verschiebung der Größenverteilung zur Folge haben.
Jedoch kann auch bei aller Sorgfalt der Wert der Grauwertschwelle innerhalb einer Aufnahme immer nur als Kompromiss gewählt werden, da die Grauwertverteilung im Gesamtbild sehr stark differiert. Erst das optimale Mittel zwischen diesen Differenzen innerhalb der Aufnahme liefert den Schlüssel zu einer qualitativ hochwertigen Analyse.
Die Diplomarbeit dient nun als Grundlage für weitere umfassende Analysen der Spritzpulver. Erst eine Auswertung einer größeren Anzahl von Pulver-Aufnahmen stellt ein repräsentatives Ergebnis über die Verteilung der Parameter in einem Pulver sicher. Zu diesem Zweck wurde am Institut bereits eine Studienarbeit vergeben.
Die Untersuchungen und Analysen der Oberfläche und Struktur der Partikel, sowie die Bestimmung des Aufschmelzgrades können in Zukunft am Rasterelektronenmikroskop durchgeführt werden.
Besonders interessant könnte in diesem Hinblick die Untersuchung der aufgeschmolzenen Partikel sein, um im Vergleich mit dem Rohpulver Rückschlüsse auf die Qualität des Schmelzvorganges zu ziehen.

Anhang

7. Anhang

7.1. Histogrammverteilungen der analysierten Pulver

Im Folgenden werden alle Größenverteilungen, die aus den Ergebnissen der Partikelanalyse ermittelt wurden, als Histogramme dargestellt.
Von jedem Pulver wird die Größenverteilung für den flächenäquivalenten Kreisdurchmesser, sowie die große und die kleine Halbachse der flächenäquivalenten Ellipse, dargestellt.
Da die Partikelanalyse bei der Ermittlung der Parameter nicht nach großer und kleiner Ellipsen-Halbachse unterscheidet, stehen hier keine Histogramme zur Verfügung.
Der Größenbereich der Histogramme wurde jeweils nach der optimalen Darstellung der AxioVision Ergebnisse gewählt, um die Resultate aller Programme vergleichen zu können.
Die Histogramme sind wie folgt gekennzeichnet:

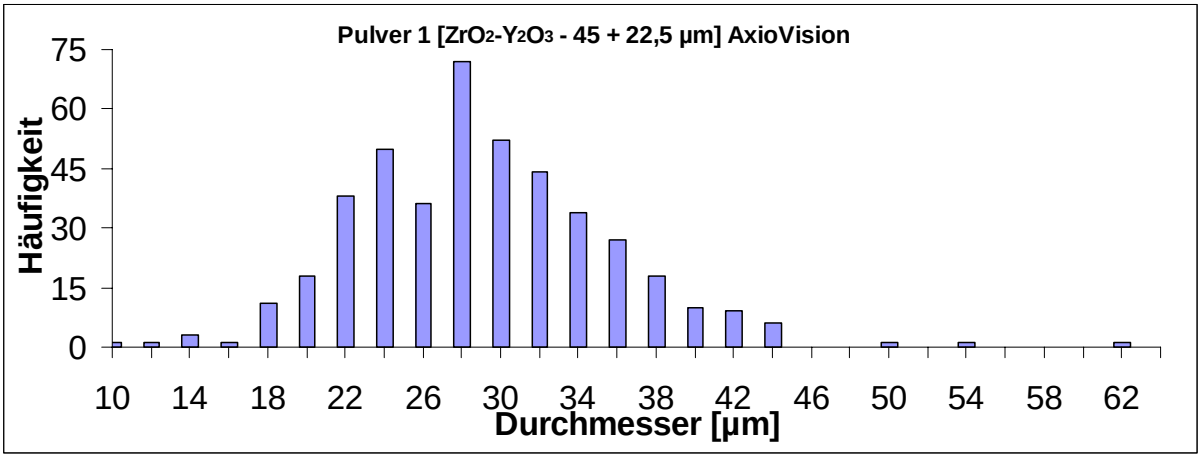


Erklärung zu den selbstgeschriebenen Analyseprogrammen:

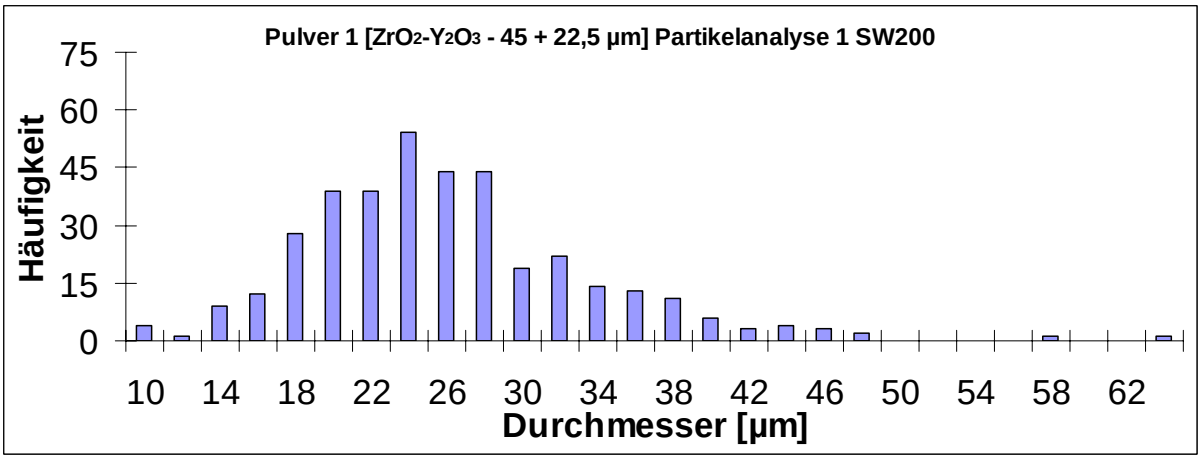
PA1 - Software programmiert und entwickelt von Dr.-Ing. G. Forster und Dipl.-Ing. J. Wagner

PA2 - Software programmiert und entwickelt von Dipl.-Ing. S. Zimmermann

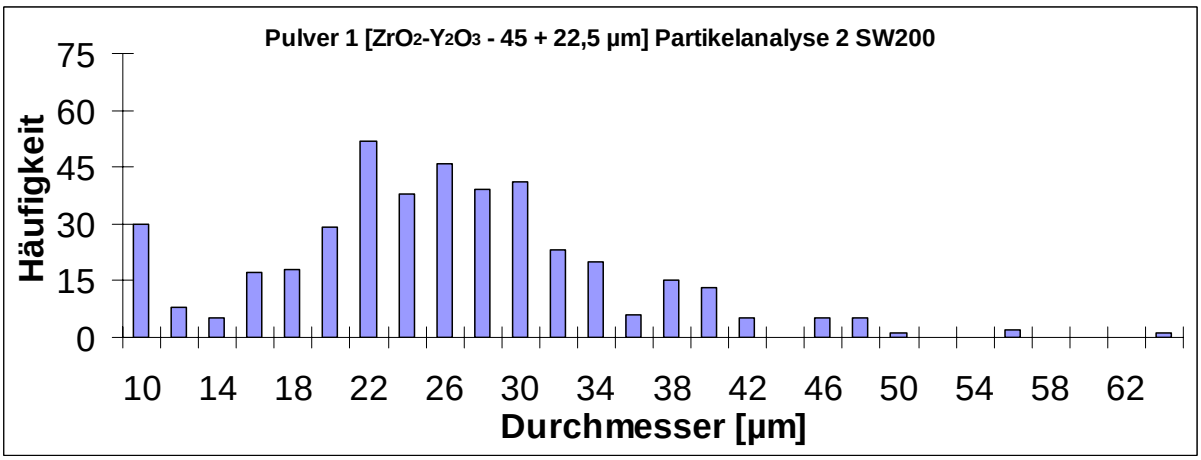
7.1.1. Pulver 1 - ZrO_2-Y_2O_3 - 45 + 22,5 µm



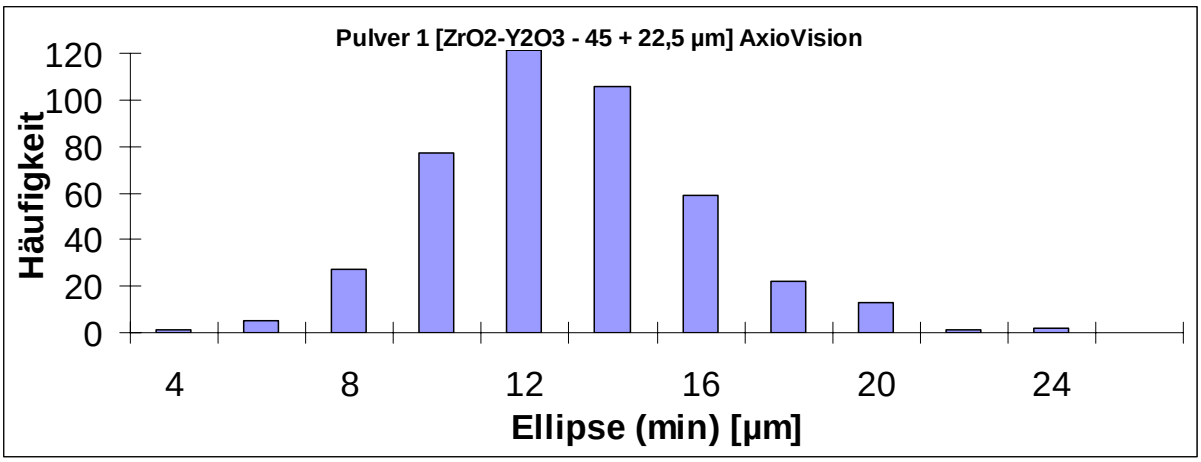
Histogramm 1.1



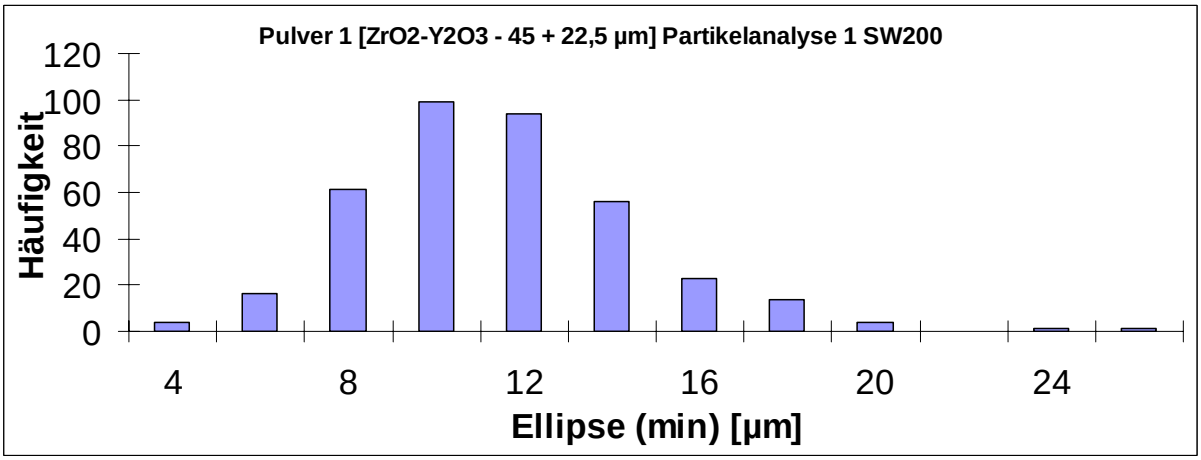
Histogramm 1.2



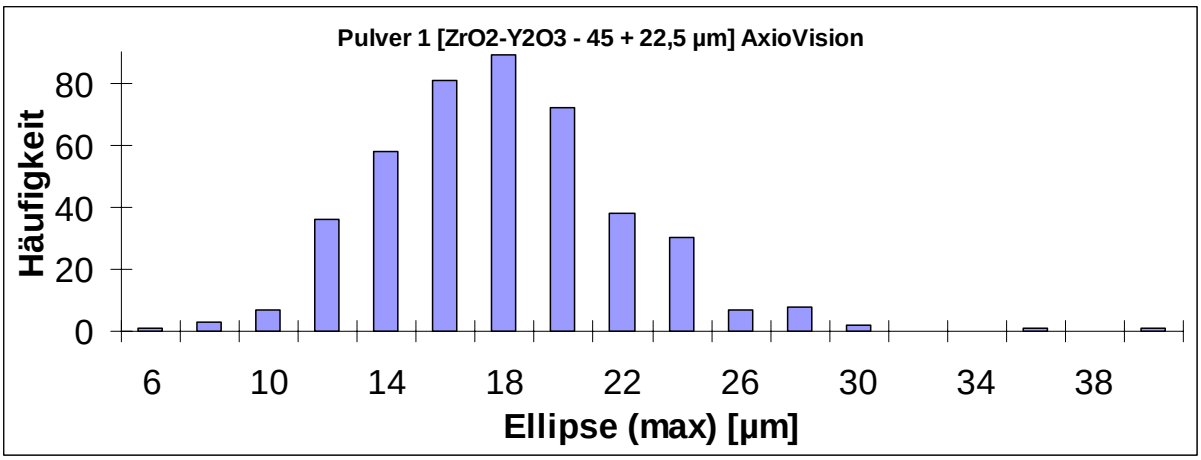
Histogramm 1.3



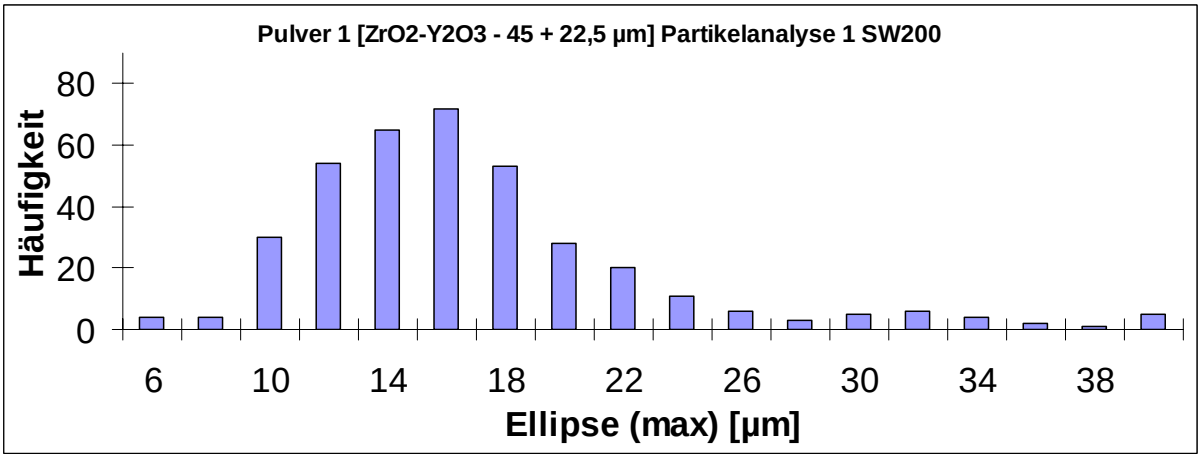
Histogramm 1.4



Histogramm 1.5

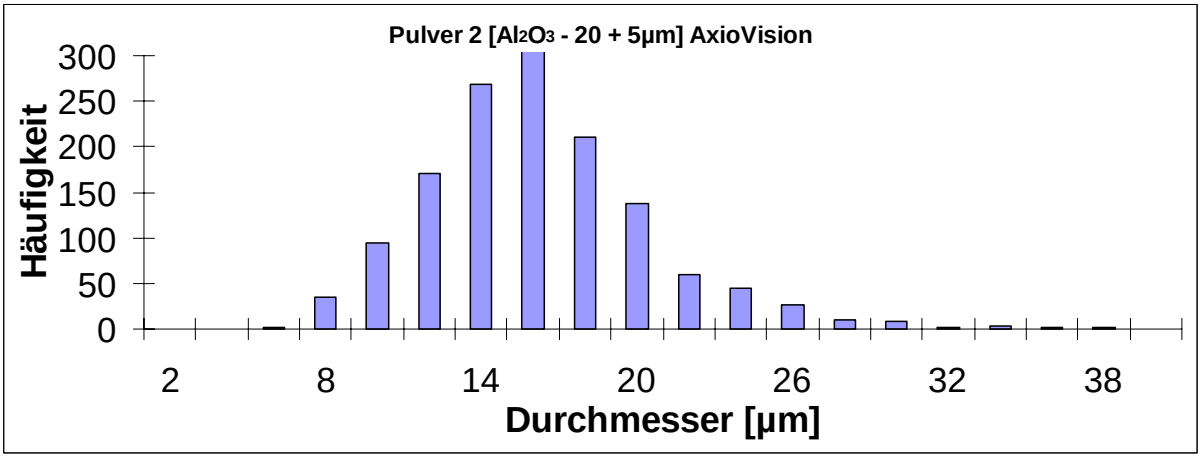


Histogramm 1.6

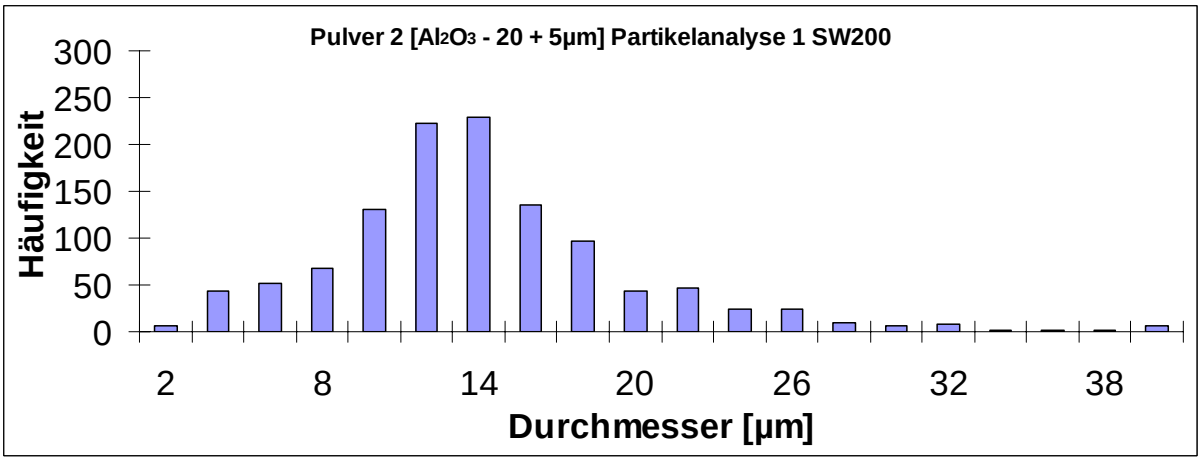


Histogramm 1.7

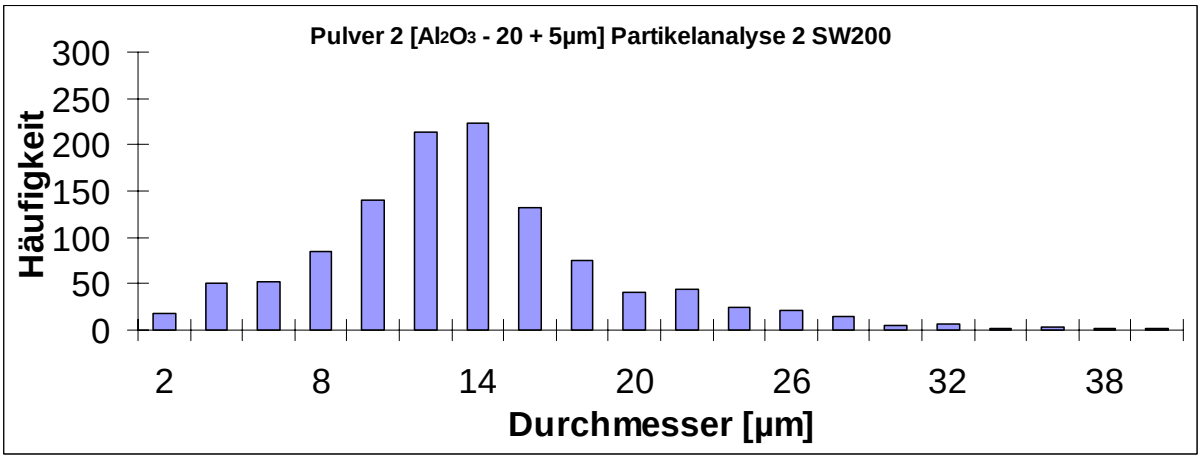
7.1.2. Pulver 2 - Al_2O_3 - 20 + 5µm



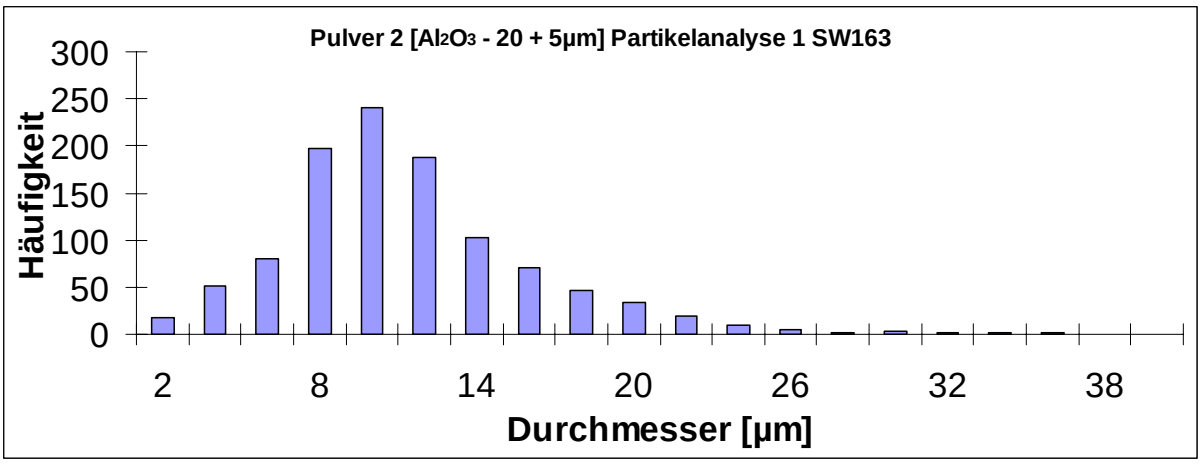
Histogramm 2.1



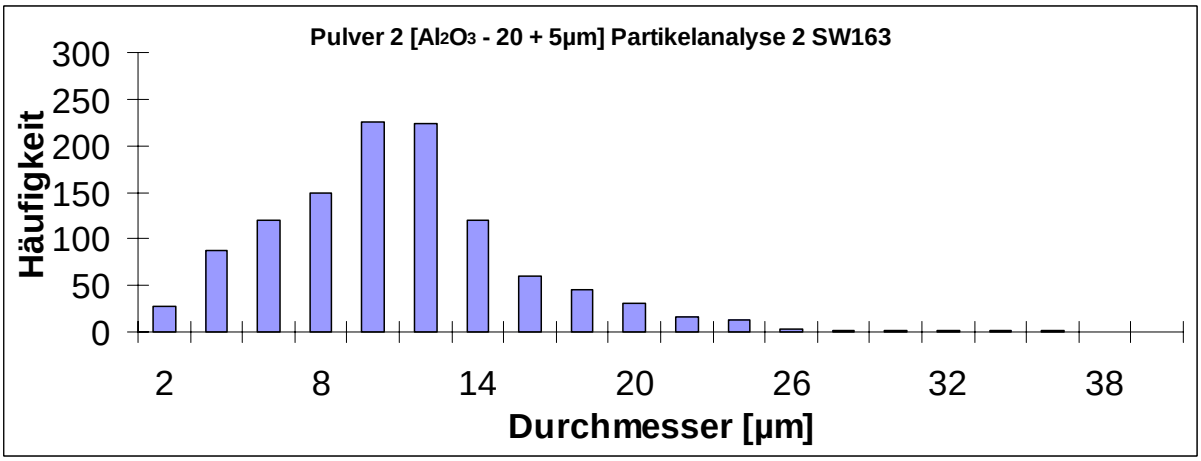
Histogramm 2.2a



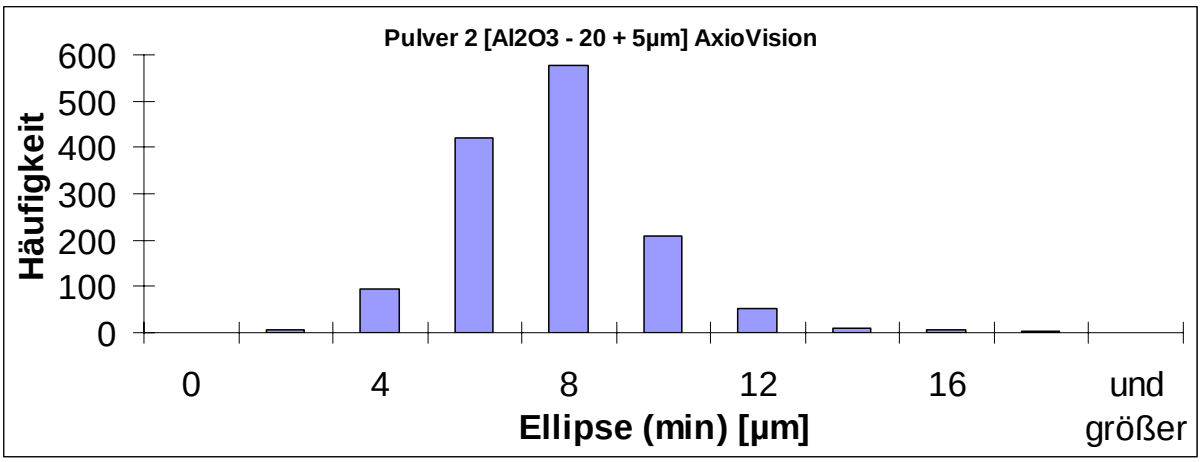
Histogramm 2.3a



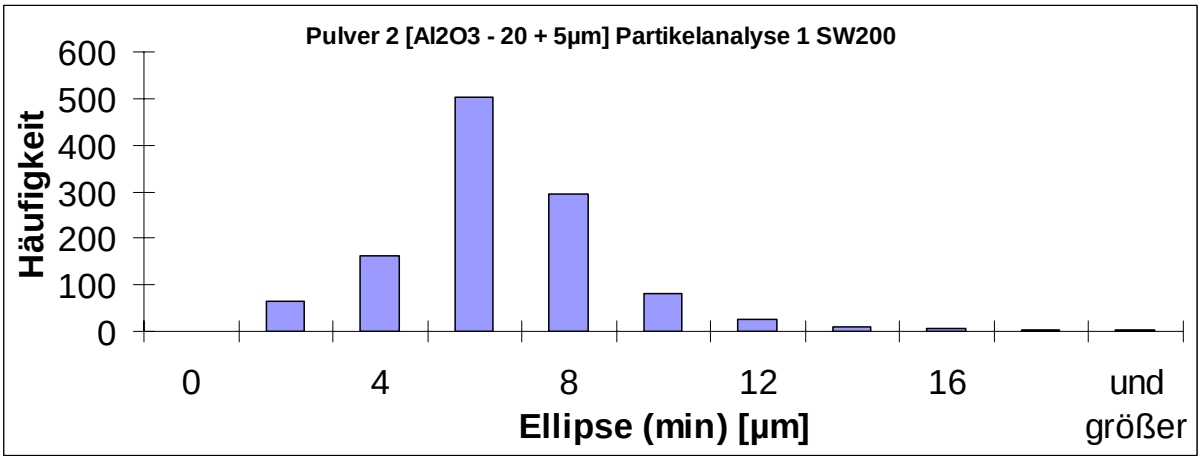
Histogramm 2.2b



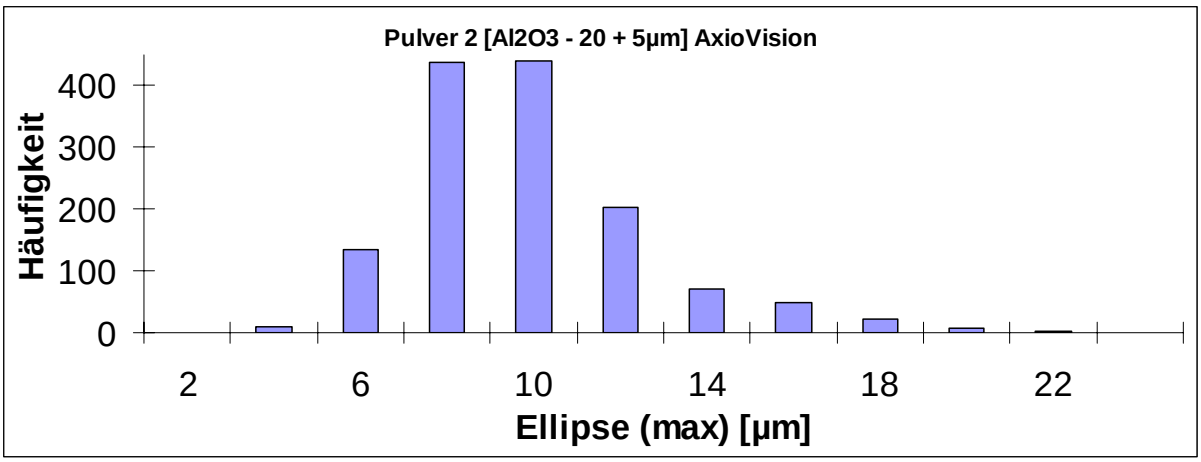
Histogramm 2.3b



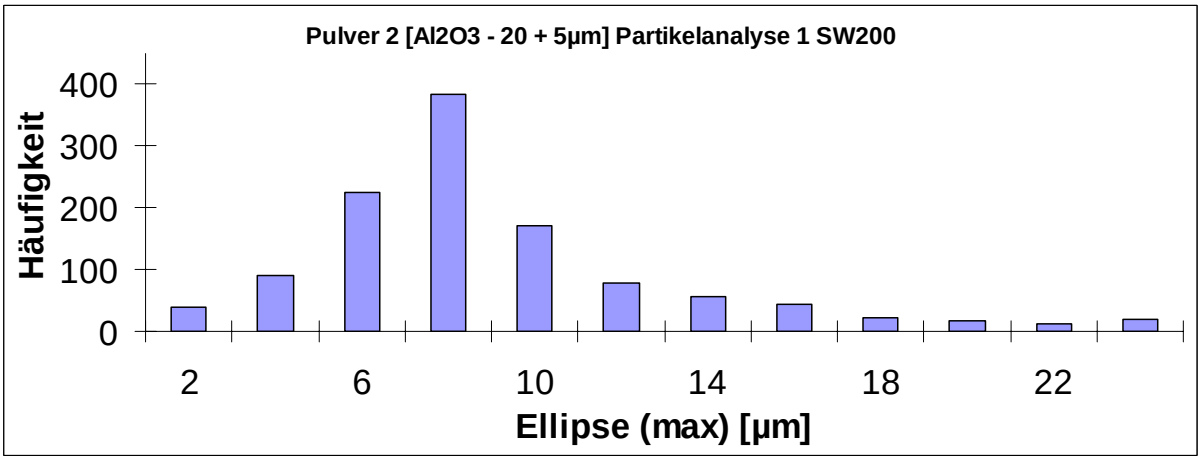
Histogramm 2.4



Histogramm 2.5

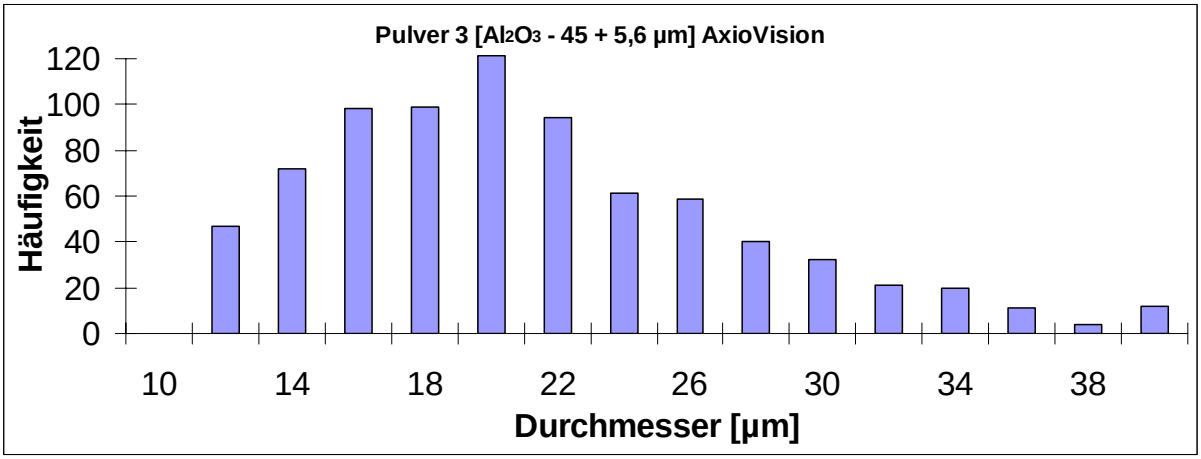


Histogramm 2.6

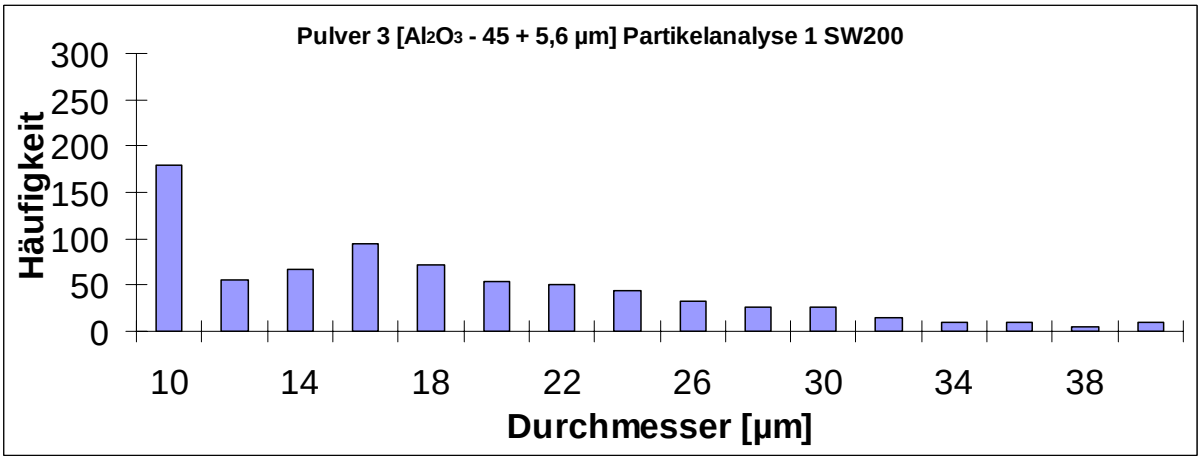


Histogramm 2.7

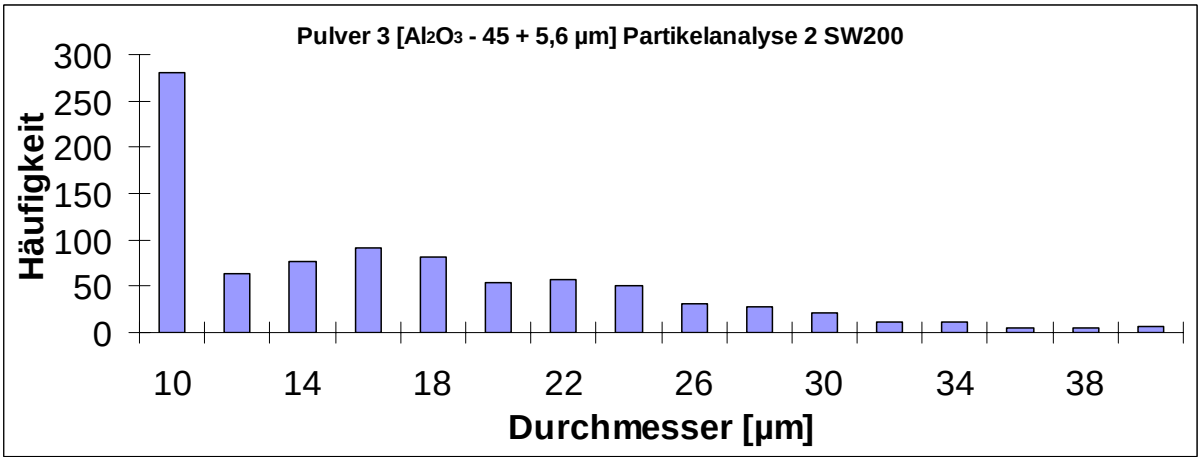
7.1.3. Pulver 3 - Al_2O_3 - 45 + 5,6 µm



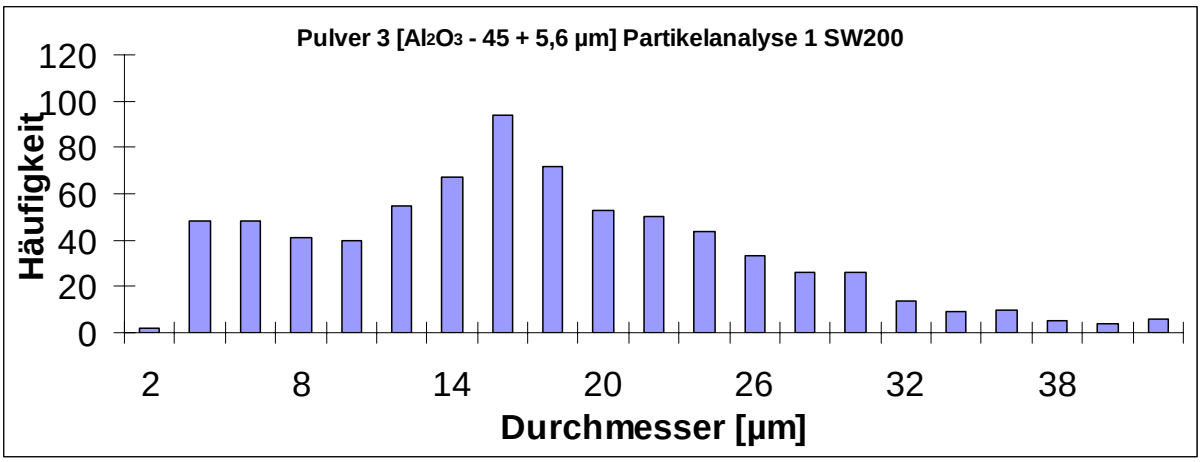
Histogramm 3.1



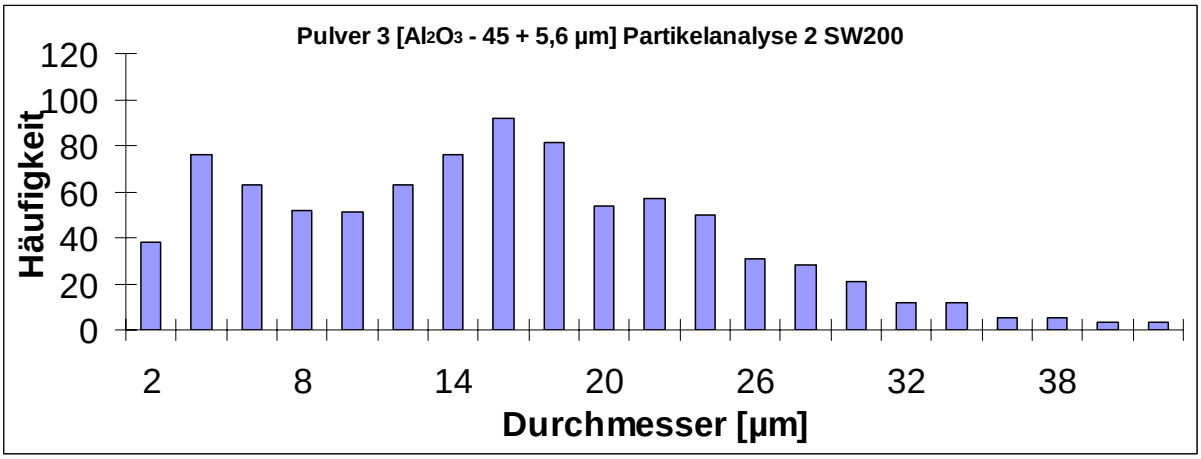
Histogramm 3.2a



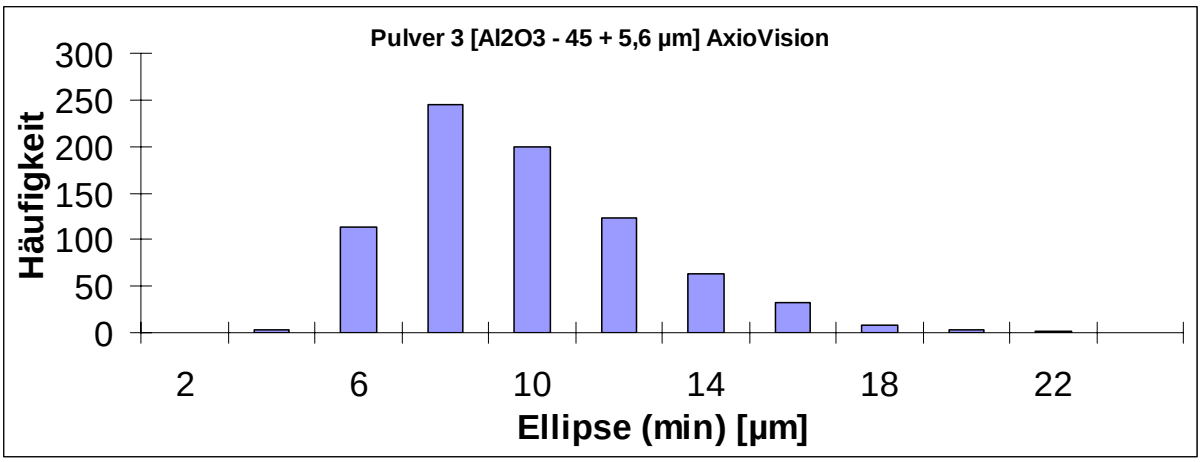
Histogramm 3.3a



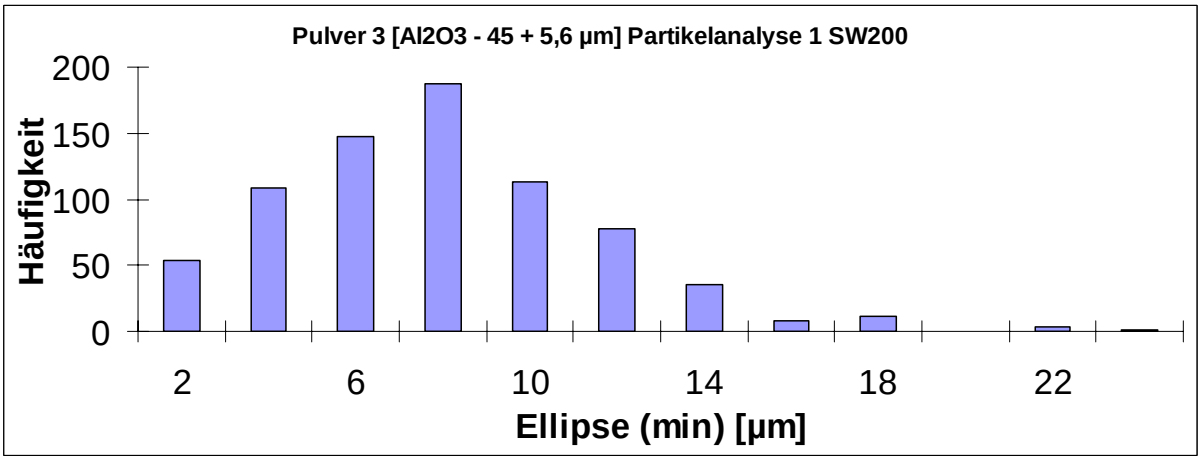
Histogramm 3.2b



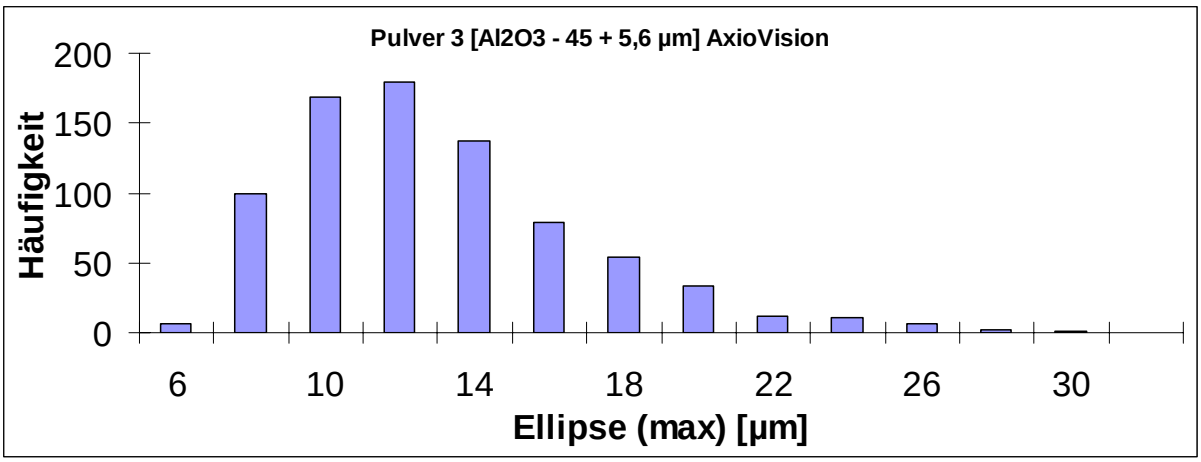
Histogramm 3.3b



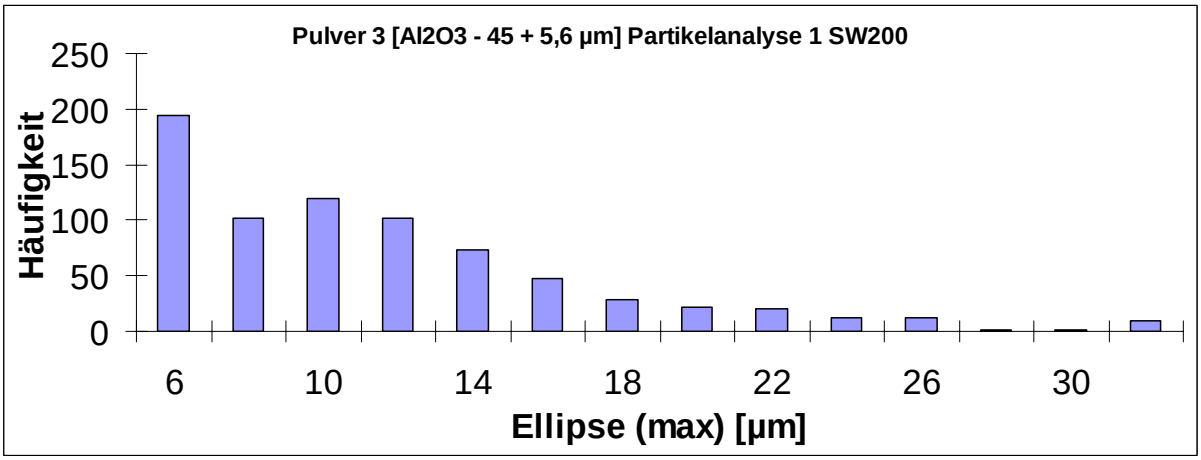
Histogramm 3.4



Histogramm 3.5

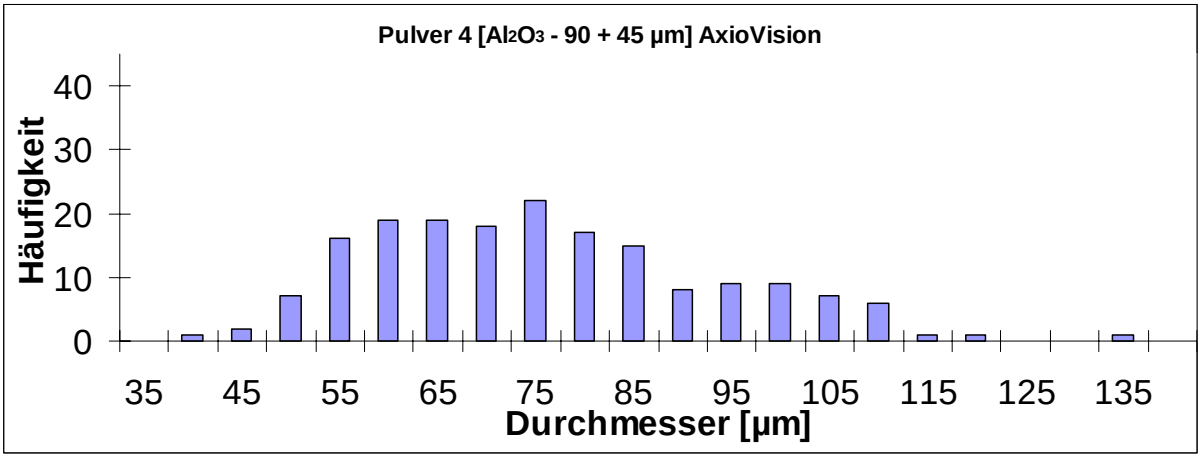


Histogramm 3.6

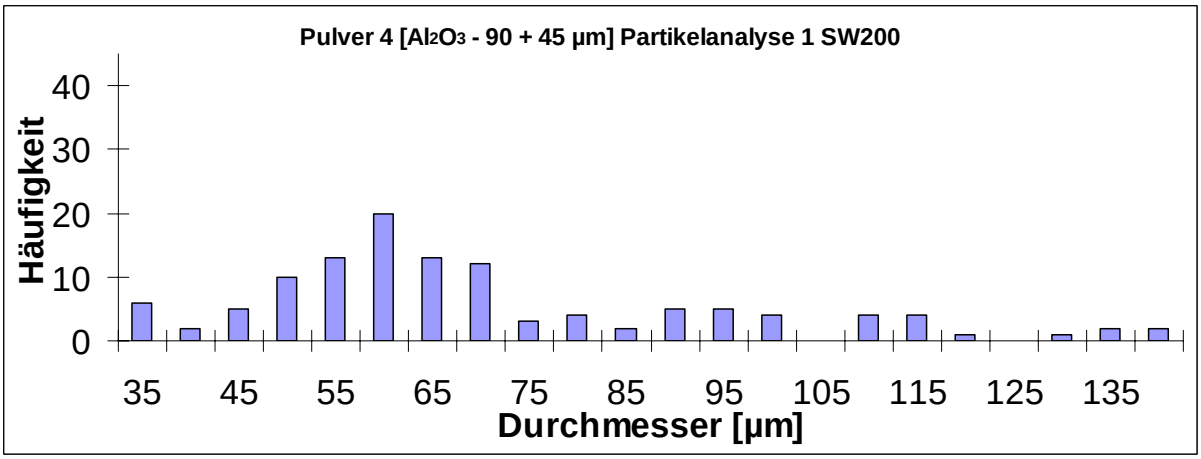


Histogramm 3.7

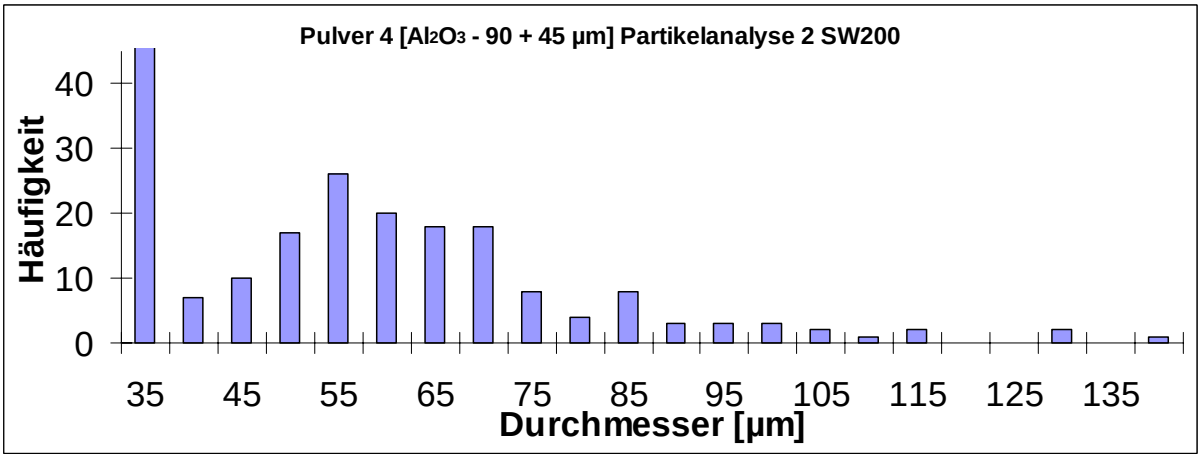
7.1.4. Pulver 4 - Al_2O_3 - 90 + 45 µm



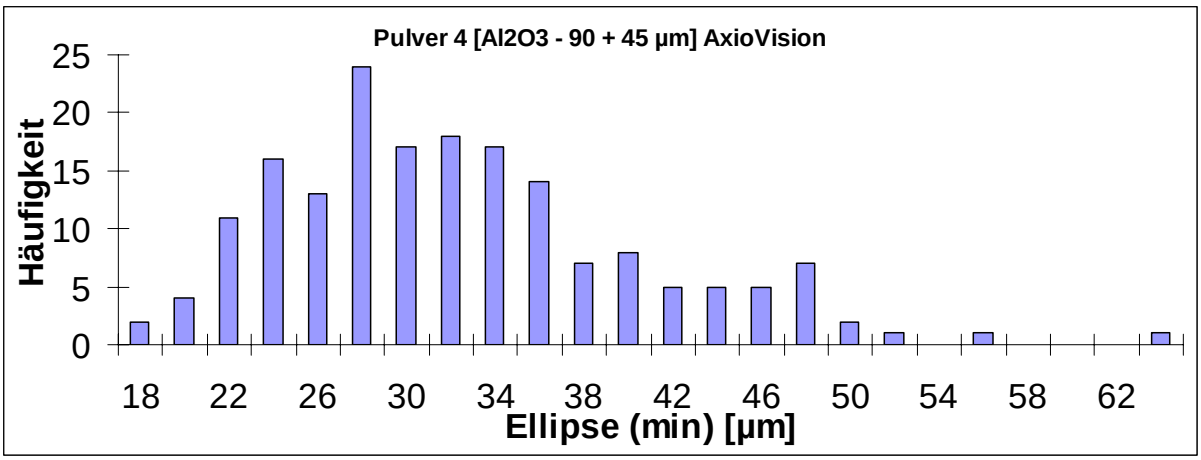
Histogramm 4.1



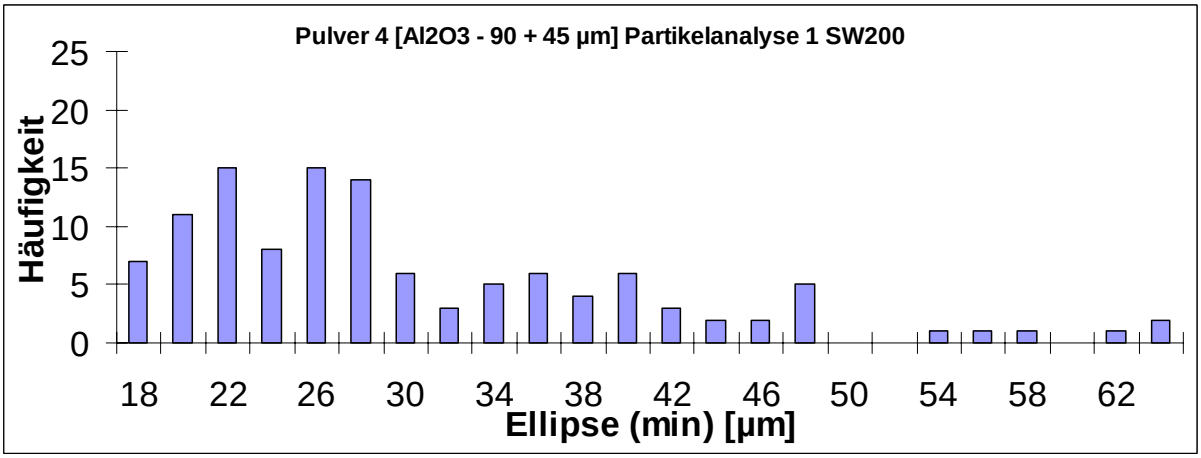
Histogramm 4.2



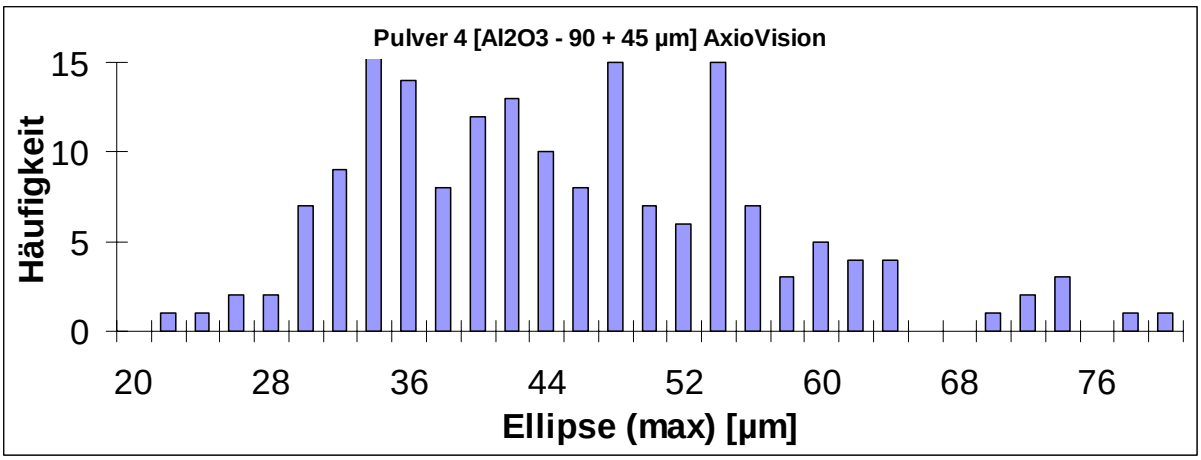
Histogramm 4.3



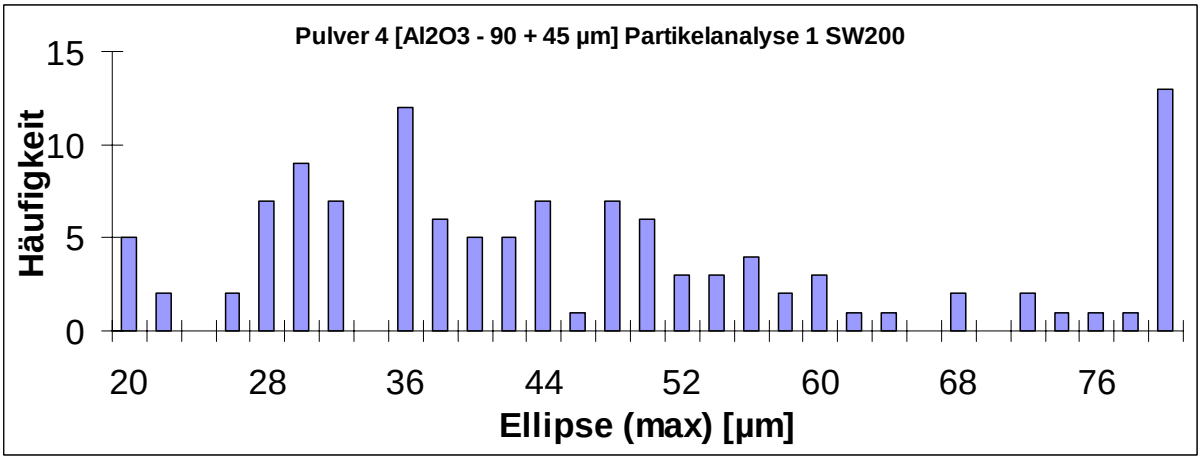
Histogramm 4.4



Histogramm 4.5

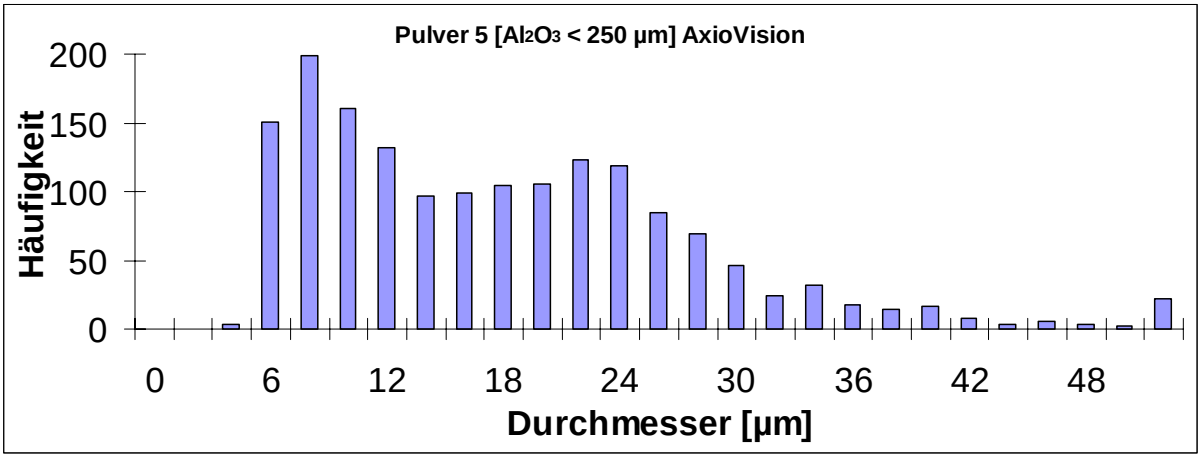


Histogramm 4.6

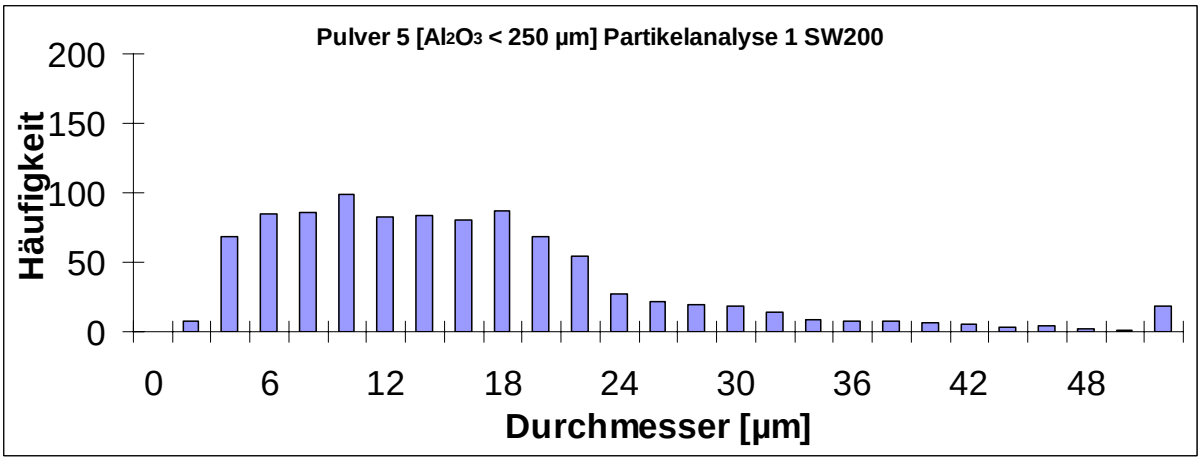


Histogramm 4.7

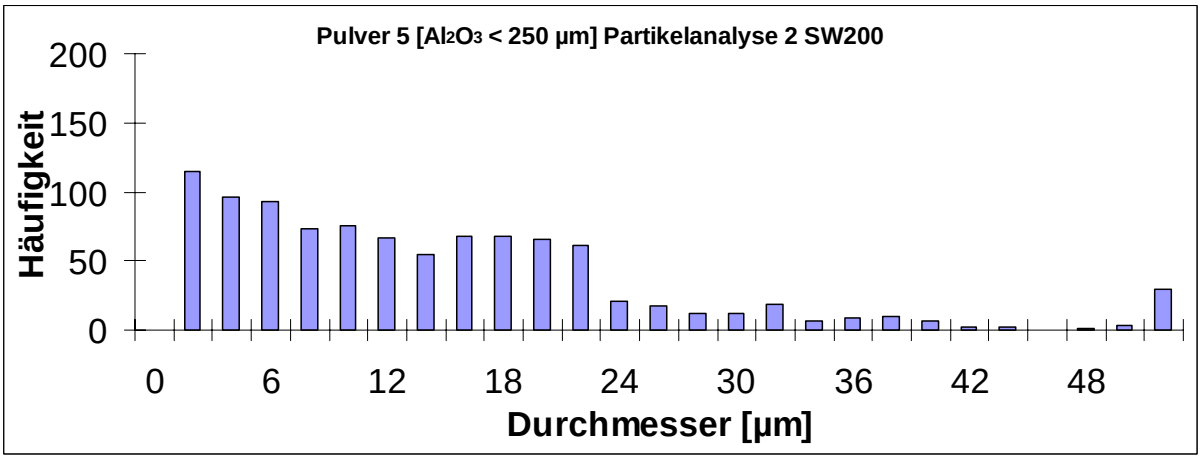
7.1.5. Pulver 5 - Al_2O_3 < 250 µm



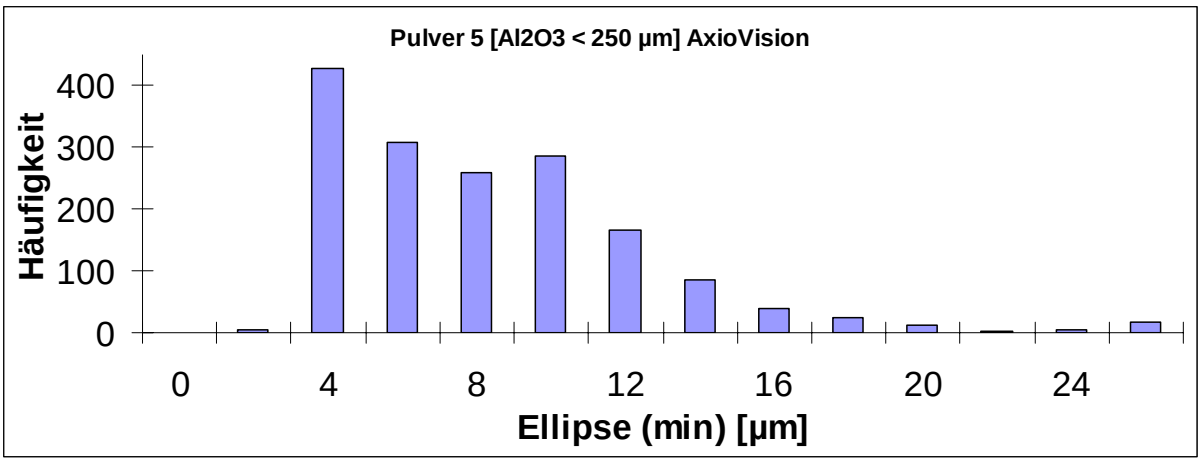
Histogramm 5.1



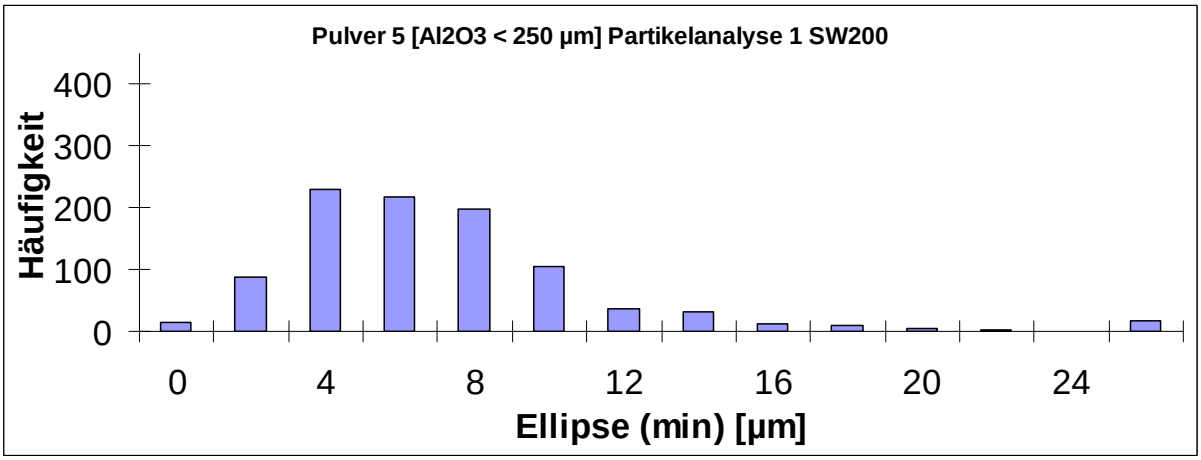
Histogramm 5.2



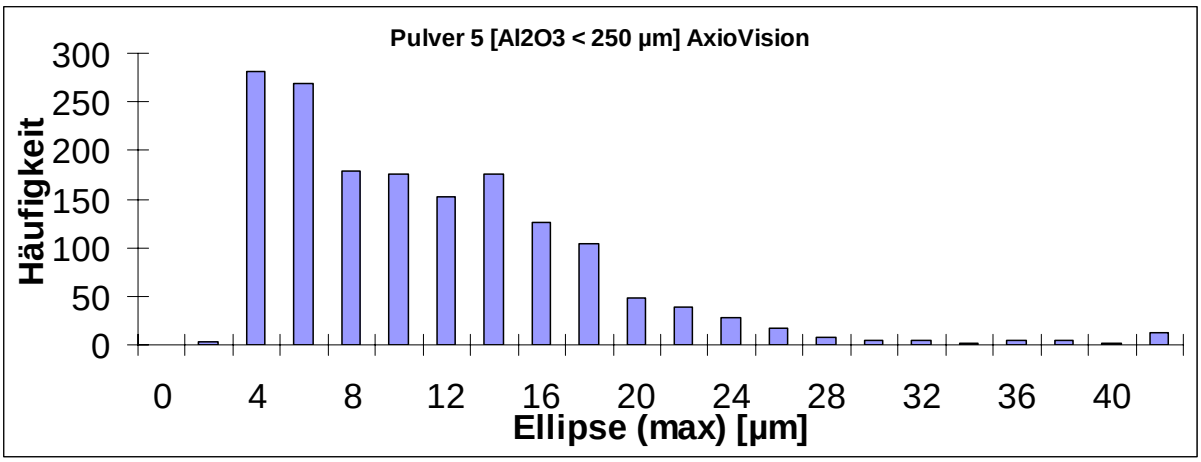
Histogramm 5.3



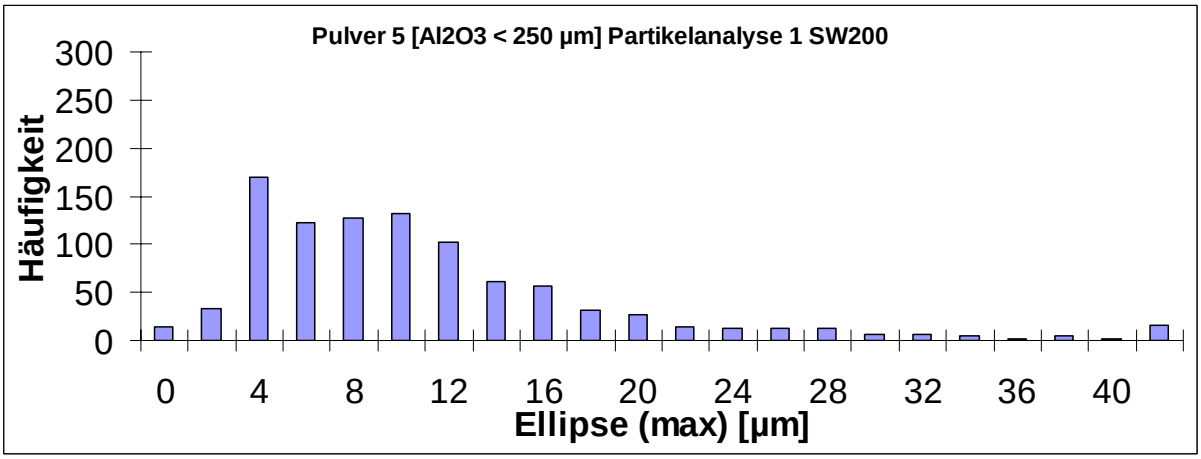
Histogramm 5.4



Histogramm 5.5

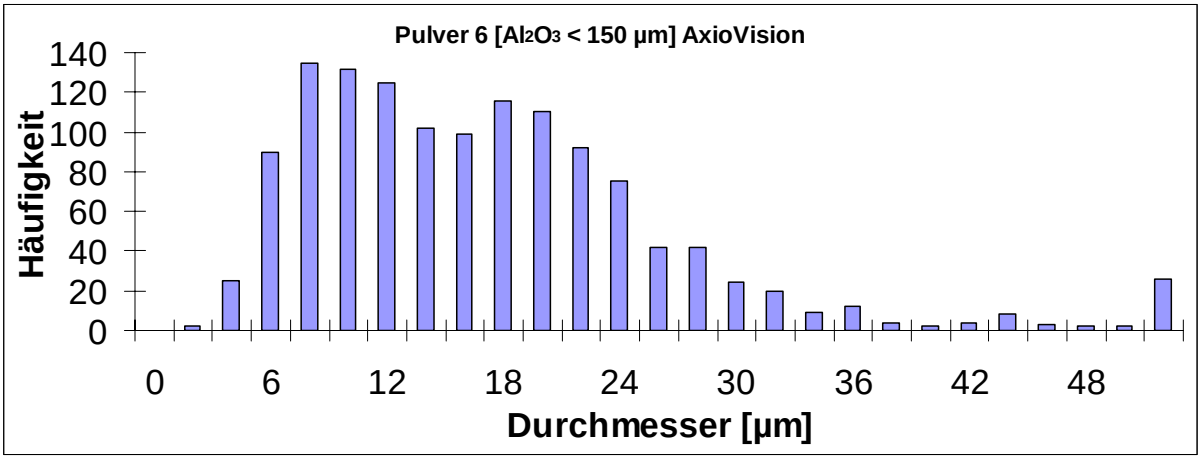


Histogramm 5.6

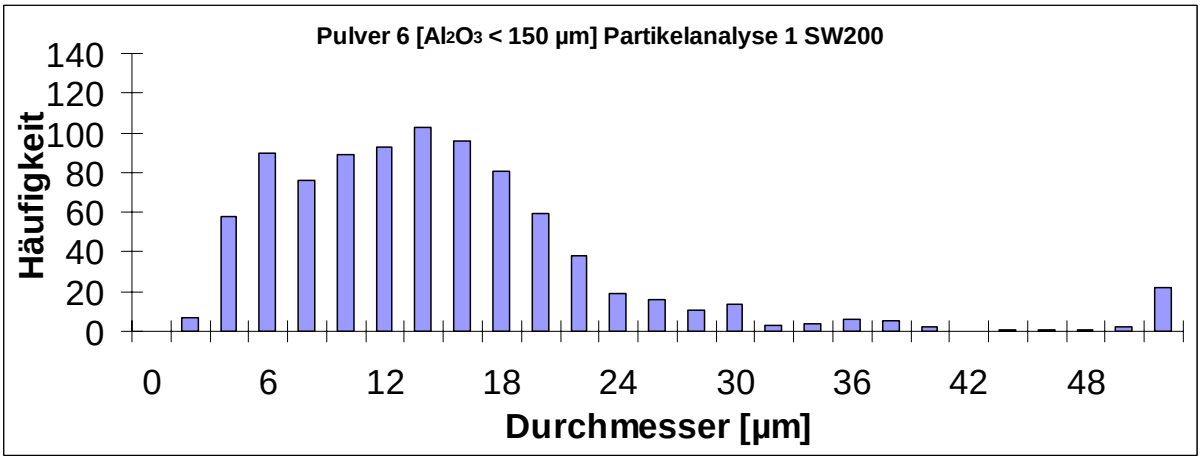


Histogramm 5.7

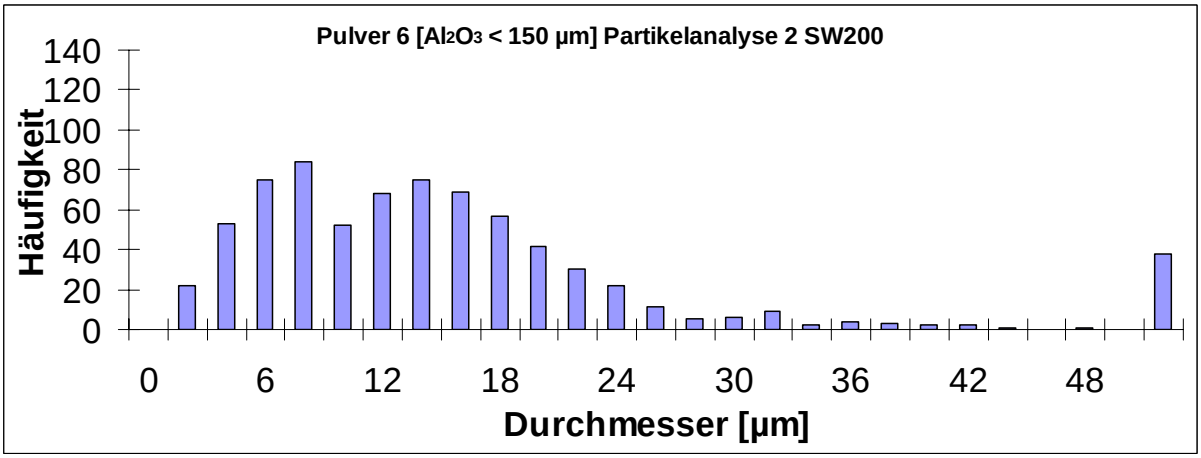
7.1.6. Pulver 6 - Al_2O_3 < 150 µm



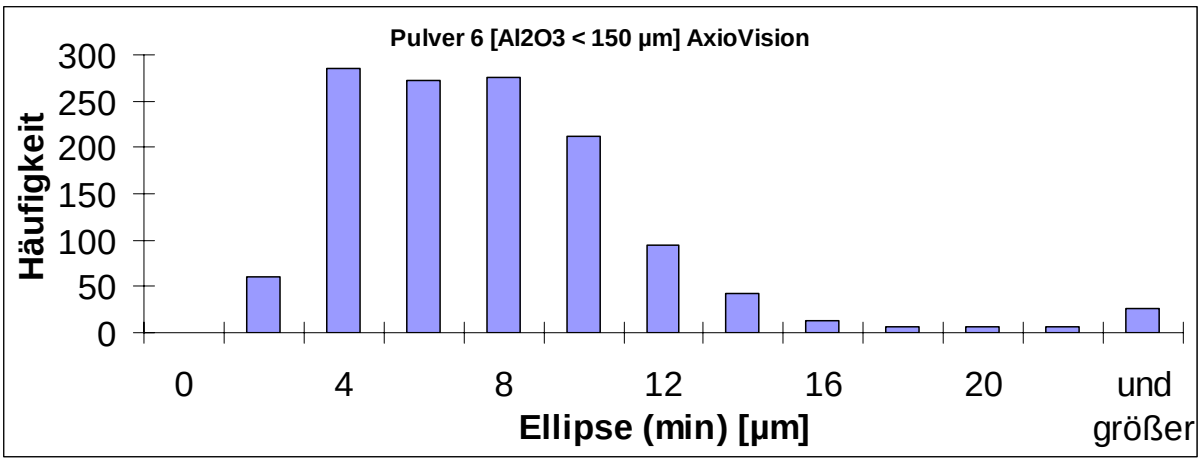
Histogramm 6.1



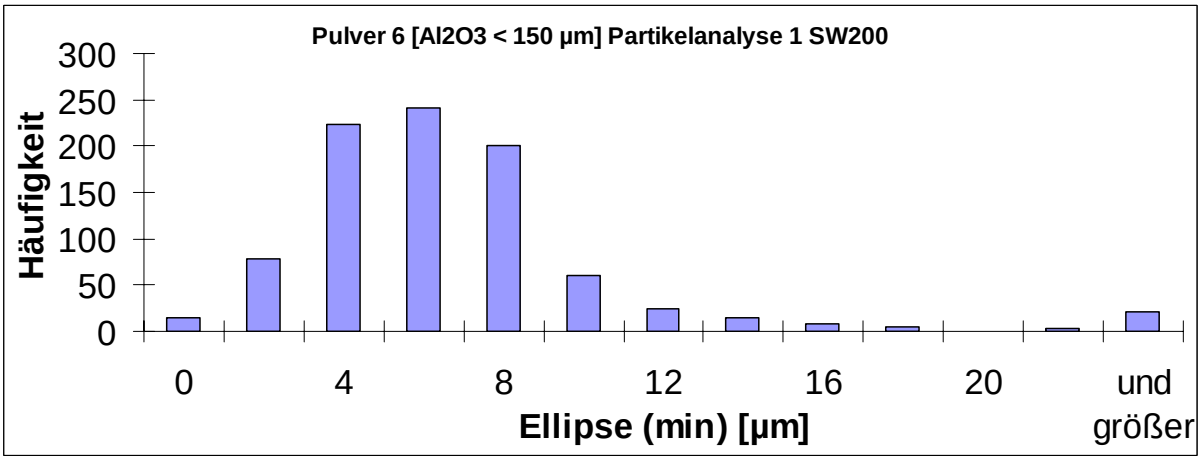
Histogramm 6.2



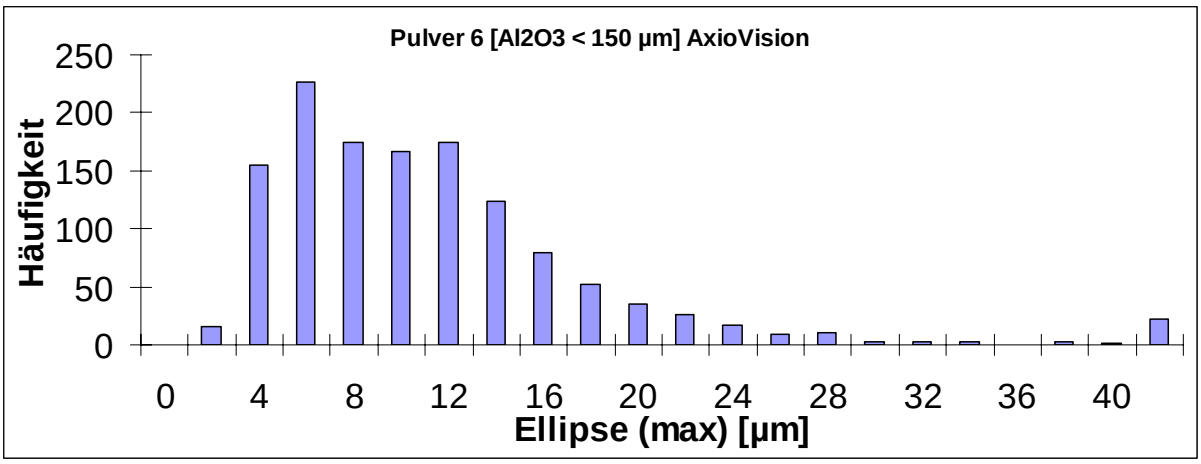
Histogramm 6.3



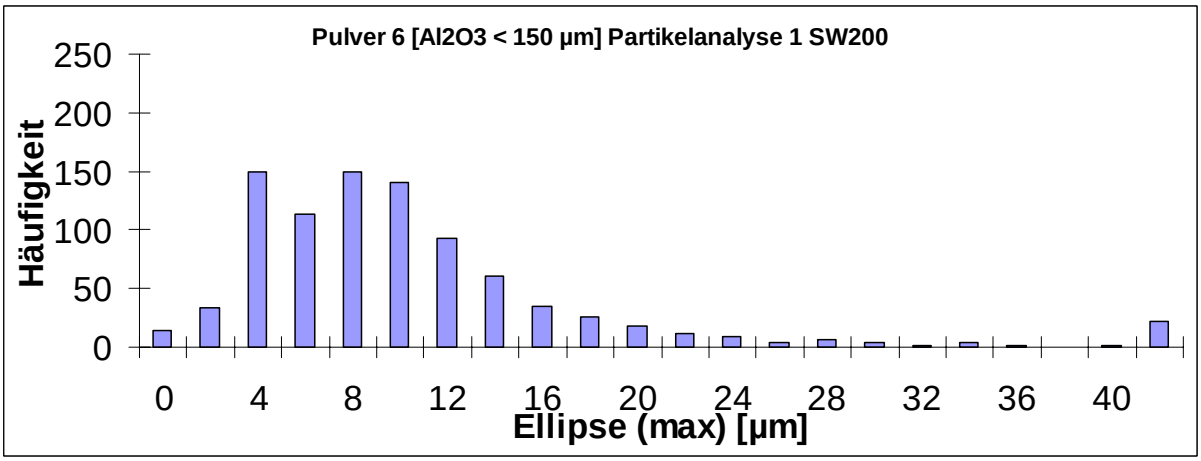
Histogramm 6.4



Histogramm 6.5



Histogramm 6.6



Histogramm 6.7

7.2. Quelltext: Archivierungsassistent (Delphi)

MessDbUnit1

Unit1 steuert im Programm das Hauptmenü-Form (Abb. 4.18).

```
unit MessDbUnit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, DBCtrls, DB, DBTables, Mask, ADODB, ExtCtrls,
  OleServer, Excel2000, Grids,Math, DBGrids;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    DBText1: TDBText;
    DBEdit1: TDBEdit;
    DBEdit2: TDBEdit;
    DBEdit3: TDBEdit;
    DBText2: TDBText;
    DBEdit4: TDBEdit;
    DBEdit5: TDBEdit;
    DataSource1: TDataSource;
    Table1: TTable;
    BtnAdd: TButton;
    Table2: TTable;
    DataSource2: TDataSource;
    BtnNew: TButton;
    BtnStore: TButton;
    BtnCancel: TButton;
    BtnDelete: TButton;
    DBEdit6: TDBEdit;
    BtnFirst: TButton;
    BtnPrior: TButton;
    BtnNext: TButton;
    BtnLast: TButton;
    CheckBox1: TCheckBox;
    DBText3: TDBText;
    DBText4: TDBText;
    DBText5: TDBText;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    DBEdit7: TDBEdit;
    Label13: TLabel;
    DBEdit8: TDBEdit;
    DBRadioGroup1: TDBRadioGroup;
    DBLookupComboBox1: TDBLookupComboBox;
    Table1Messnummer: TAutoIncField;
    Table1Datum: TStringField;
    Table1Durchfhrender: TStringField;
    Table1Aufnahmegert: TStringField;
    Table1Eigenschaften: TStringField;
    Table1Belichtungszeit: TStringField;
    Table1Auftraggeber: TStringField;
    Table1Pulvernummer: TIntegerField;
    Table1Auswerteprogramm: TStringField;
    Table1Grauwertschwelle: TStringField;
    Table1Bemerkungen: TStringField;
    Table2Pulvernummer: TAutoIncField;
    Table2Bezeichnung: TStringField;
```

```
    Table2Kontakt: TStringField;
    Table2GreSpezifikation: TStringField;
    Table2Besonderheiten: TStringField;
    Table2Artikelnummer: TStringField;
    Table2Kontrollnummer: TStringField;
    Label14: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Database1: TDatabase;
    HistogrammButton: TButton;
    procedure BtnAddClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure BtnFirstClick(Sender: TObject);
    procedure BtnPriorClick(Sender: TObject);
    procedure BtnNextClick(Sender: TObject);
    procedure BtnLastClick(Sender: TObject);
    procedure SetButtons(n: Byte);
    procedure CheckBox1Click(Sender: TObject);
    procedure Table1AfterEdit(DataSet: TDataSet);
    procedure BtnNewClick(Sender: TObject);
    procedure BtnCancelClick(Sender: TObject);
    procedure BtnDeleteClick(Sender: TObject);
    procedure BtnStoreClick(Sender: TObject);
    procedure DBRadioGroup1Change(Sender: TObject);
    procedure HistogrammButtonClick(Sender: TObject);

  private
    { Private-Deklarationen }
  public
    { Public-Deklarationen }
    aktMessNr : Integer;

    procedure SpeichernTabelle;
  end;

var
  Form1: TForm1;
  MyPos: TBookmark;

implementation

{$R *.dfm}

Uses
  HistogrammUnit,MessDbUnit2, MessDbUnit3, MessDbUnit4, MessDbUnit5;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
 DoubleBuffered:=TRUE;
 setButtons(0);
end;

procedure TForm1.BtnAddClick(Sender: TObject);
begin
 MessDbUnit2.Form2.Visible:=TRUE;
end;

procedure TForm1.BtnFirstClick(Sender: TObject);       //Erster
begin
 Table1.First;
 BtnLast.Enabled:=TRUE;
 BtnNext.Enabled:=TRUE;
 BtnPrior.Enabled:=FALSE;
 BtnFirst.Enabled:=FALSE;
end;

procedure TForm1.BtnPriorClick(Sender: TObject);       //Zurück
begin
 Table1.Prior;
 BtnLast.Enabled:=TRUE;
 BtnNext.Enabled:=TRUE;
 if Table1.Bof then BtnFirstClick(Self)
end;
```

```
procedure TForm1.BtnNextClick(Sender: TObject);        //Vorwärts
begin
 Table1.Next;
 BtnFirst.Enabled:=TRUE;
 BtnPrior.Enabled:=TRUE;
 if Table1.Eof then BtnLastClick(Self);
end;

procedure TForm1.BtnLastClick(Sender: TObject);        //Letzter
begin
 Table1.Last;
 BtnFirst.Enabled:=TRUE;
 BtnPrior.Enabled:=TRUE;
 BtnNext.Enabled:=FALSE;
 BtnLast.Enabled:=FALSE;
end;

procedure TForm1.SetButtons(n: Byte);
begin
 case n of
  0: begin
       BtnNew.Enabled:=FALSE;
       BtnStore.Enabled:=FALSE;
       BtnCancel.Enabled:=FALSE;
       BtnDelete.Enabled:=FALSE;
       BtnFirst.Enabled:=TRUE;
       BtnPrior.Enabled:=TRUE;
       BtnNext.Enabled:=TRUE;
       BtnLast.Enabled:=TRUE;
       DBRadioGroup1.Enabled:=FALSE;
      end;
  1: begin
       BtnNew.Enabled:=TRUE;
       BtnStore.Enabled:=FALSE;
       BtnCancel.Enabled:=FALSE;
       BtnDelete.Enabled:=TRUE;
       BtnFirst.Enabled:=TRUE;
       BtnPrior.Enabled:=TRUE;
       BtnNext.Enabled:=TRUE;
       BtnLast.Enabled:=TRUE;
       DBRadioGroup1.Enabled:=FALSE;
      end;
  2: begin
       BtnNew.Enabled:=FALSE;
       BtnStore.Enabled:=TRUE;
       BtnCancel.Enabled:=TRUE;
       BtnDelete.Enabled:=FALSE;
       BtnFirst.Enabled:=FALSE;
       BtnPrior.Enabled:=FALSE;
       BtnNext.Enabled:=FALSE;
       BtnLast.Enabled:=FALSE;
       DBRadioGroup1.Enabled:=TRUE;
      end;
 end;
end;

procedure TForm1.CheckBox1Click(Sender: TObject);     //Schreibschutz
begin
 MyPos:= Table1.GetBookmark;                          //Pos merken
 Table1.Active:=FALSE;
 if CheckBox1.Checked = TRUE then
 begin
  Table1.ReadOnly:=TRUE;                              //Schutz
  setButtons(0)
 end
  else
   begin                                              //Zugriff
    Table1.ReadOnly:=FALSE;
    setButtons(1)
   end;
 Table1.Active:=TRUE;
 Table1.GotoBookmark(MyPos);                          //alte Pos
end;
```

```
procedure TForm1.Table1AfterEdit(DataSet: TDataSet);
begin
 setButtons(2)
end;

procedure TForm1.BtnNewClick(Sender: TObject);
begin
 Table1.Append;
 setButtons(2);
 Table1Pulvernummer.Value:=0;
 Table1.Post;
 Table1.Last;                                              // Festlegung Messnummer
(Autowert)
 aktMessNr := Table1Messnummer.Value;                      // Übergabe Messnummer für
Archivierung
end;

procedure TForm1.BtnCancelClick(Sender: TObject);
begin
 Table1.Cancel;
 Table1.Edit;
 setButtons(1)
end;

procedure TForm1.BtnDeleteClick(Sender: TObject);
begin
 if MessageDlg('Wollen Sie dieses Messprotokoll wirklich löschen?',
    mtWarning,[mbYes, mbNo], 0) = mrYes then
    begin
     Table1.Delete;
     Table1.Edit;
    end
end;

procedure TForm1.BtnStoreClick(Sender: TObject);
var
AnzahlBu: Integer;
Zaehler: Integer;
begin
   If DBRadioGroup1.ItemIndex=-1 then
    begin
    Application.MessageBox('Wählen Sie ein Auswerteprogramm aus!','Fehler: unvollständige
Datenangabe');
    end;
   Zaehler:=0;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit1.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie ein Datum an! ("-" für kein)','Fehler: unvollständige
Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit2.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie den Durchführenden an! ("-" für keinen)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit3.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie den Auftraggeber an! ("-" für keinen)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
```

```
   AnzahlBu:=Length(DBEdit4.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie das Aufnahmegerät an! ("-" für keines)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit5.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie die Belichtungszeit an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit6.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie die Grauwertschwelle an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit7.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie Bemerkungen an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit8.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie die Auflösung an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
 If Zaehler=8 then
  begin
   SpeichernTabelle;
  end
 else
  begin
   Application.MessageBox('Das Protokoll kann nicht gespeichert werden!','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
  end;
end;

Procedure TForm1.SpeichernTabelle;
begin
 Table1.Edit;
 Table1Datum.Value              := DBEdit1.Text;
 Table1Durchfhrender.Value      := DBEdit2.Text;
 Table1Auftraggeber.Value       := DBEdit3.Text;
 Table1Aufnahmegert.Value       := DBEdit4.Text;
 Table1Belichtungszeit.Value    := DBEdit5.Text;
 Table1Grauwertschwelle.Value   := DBEdit6.Text;
 Table1Bemerkungen.Value        := DBEdit7.Text;
 Table1Eigenschaften.Value      := DBEdit8.Text;
 Table1Pulvernummer.Value       := Table2Pulvernummer.Value;
 Table1.Post;
 setButtons(1);
end;
```

```
procedure TForm1.DBRadioGroup1Change(Sender: TObject);
begin
 Case DBRadioGroup1.ItemIndex of
  0: begin
      MessDbUnit3.Form3.Visible:=TRUE;
      MessDBUnit3.Form3.Memo1.Clear;
      MessDBUnit3.Form3.BtnGetAxio.Enabled:=FALSE;
      MessDBUnit3.Form3.Memo2.Visible:=FALSE;
     end;

  1: begin
      MessDbUnit4.Form4.Visible:=TRUE;
      MessDBUnit4.Form4.Memo1.Clear;
      MessDBUnit4.Form4.BtnGetDelphi.Enabled:=FALSE;
      MessDBUnit4.Form4.Memo2.Visible:=FALSE;
     end;

  2: begin
      MessDbUnit5.Form5.Visible:=TRUE;
      MessDBUnit5.Form5.Memo1.Clear;
      MessDBUnit5.Form5.BtnGetZimbo.Enabled:=FALSE;
      MessDBUnit5.Form5.Memo2.Visible:=FALSE;
     end;
 end;
end;

procedure TForm1.HistogrammButtonClick(Sender: TObject);
begin
 HistogrammUnit.HistogrammForm.Show;
 HistogrammUnit.HistogrammForm.Memo1.Clear;
end;

end.
```

MessDbUnit2

Unit2 steuert im Programm das Pulverarchiv-Form (Abb. 4.19 und 4.20).

```
unit MessDbUnit2;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, DB, DBTables, Mask, DBCtrls;

type
  TForm2 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    DBText1: TDBText;
    DBEdit1: TDBEdit;
    DBEdit2: TDBEdit;
    DBEdit4: TDBEdit;
    DBEdit5: TDBEdit;
    DBEdit6: TDBEdit;
    Table1: TTable;
    DataSource1: TDataSource;
    BtnEnd: TButton;
    BtnNew: TButton;
    BtnStore: TButton;
    BtnCancel: TButton;
    BtnDelete: TButton;
    BtnFirst: TButton;
    BtnPrior: TButton;
    BtnNext: TButton;
    BtnLast: TButton;
    CheckBox1: TCheckBox;
    DBEdit3: TDBEdit;
    DBEdit7: TDBEdit;
    Table1Pulvernummer: TAutoIncField;
    Table1Bezeichnung: TStringField;
    Table1Hersteller: TStringField;
    Table1Kontakt: TStringField;
    Table1GreSpezifikation: TStringField;
    Table1Besonderheiten: TStringField;
    Table1Artikelnummer: TStringField;
    Table1Kontrollnummer: TStringField;
    Label9: TLabel;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure BtnFirstClick(Sender: TObject);
    procedure BtnPriorClick(Sender: TObject);
    procedure BtnNextClick(Sender: TObject);
    procedure BtnLastClick(Sender: TObject);
    procedure setButtons(m: Byte);
    procedure CheckBox1Click(Sender: TObject);
    procedure Table1AfterEdit(DataSet: TDataSet);
    procedure BtnStoreClick(Sender: TObject);
    procedure BtnNewClick(Sender: TObject);
    procedure BtnCancelClick(Sender: TObject);
    procedure BtnDeleteClick(Sender: TObject);
    procedure BtnEndClick(Sender: TObject);

private
  public
    { Public-Deklarationen }
  end;

var
  Form2: TForm2;
  MyPos: TBookmark;
```

```
implementation

{$R *.dfm}

Uses MessDbUnit1;

procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
 setButtons(0)
end;

procedure TForm2.BtnFirstClick(Sender: TObject);       //Erster
begin
 Table1.First;
 BtnLast.Enabled:=TRUE;
 BtnNext.Enabled:=TRUE;
 BtnPrior.Enabled:=FALSE;
 BtnFirst.Enabled:=FALSE;
end;

procedure TForm2.BtnPriorClick(Sender: TObject);       //Zurück
begin
 Table1.Prior;
 BtnLast.Enabled:=TRUE;
 BtnNext.Enabled:=TRUE;
 if Table1.Bof then BtnFirstClick(Self)
end;

procedure TForm2.BtnNextClick(Sender: TObject);        //Vorwärts
begin
 Table1.Next;
 BtnFirst.Enabled:=TRUE;
 BtnPrior.Enabled:=TRUE;
 if Table1.Eof then BtnLastClick(Self);
end;

procedure TForm2.BtnLastClick(Sender: TObject);        //Letzter
begin
 Table1.Last;
 BtnFirst.Enabled:=TRUE;
 BtnPrior.Enabled:=TRUE;
 BtnNext.Enabled:=FALSE;
 BtnLast.Enabled:=FALSE;
end;

procedure TForm2.setButtons(m: Byte);
begin
 case m of
  0: begin
      BtnNew.Enabled:=FALSE;
      BtnStore.Enabled:=FALSE;
      BtnCancel.Enabled:=FALSE;
      BtnDelete.Enabled:=FALSE;
      BtnEnd.Enabled:=TRUE;
     end;
  1: begin
      BtnNew.Enabled:=TRUE;
      BtnStore.Enabled:=FALSE;
      BtnCancel.Enabled:=FALSE;
      BtnDelete.Enabled:=TRUE;
      BtnEnd.Enabled:=TRUE;
     end;
  2: begin
      BtnNew.Enabled:=FALSE;
      BtnStore.Enabled:=TRUE;
      BtnCancel.Enabled:=TRUE;
      BtnDelete.Enabled:=FALSE;
      BtnEnd.Enabled:=FALSE;
     end;
 end;
end;
```

```
procedure TForm2.CheckBox1Click(Sender: TObject);   //Schreibschutz
begin
 MyPos:= Table1.GetBookmark;
 Table1.Active:=FALSE;
 if CheckBox1.Checked = TRUE then
 begin
  Table1.ReadOnly:=TRUE;
  setButtons(0)
 end
  else
   begin
    Table1.ReadOnly:=FALSE;
    setButtons(1)
   end;
 Table1.Active:=TRUE;
 Table1.GotoBookmark(MyPos);
end;

procedure TForm2.Table1AfterEdit(DataSet: TDataSet);
begin
 setButtons(2)
end;

procedure TForm2.BtnStoreClick(Sender: TObject);    //Speichern
{begin
 Table1.Edit;
 Table1.FieldValues['Bezeichnung'] := DBEdit1.Text;
 Table1.FieldValues['Hersteller'] :=  DBEdit2.Text;
 Table1.FieldValues['Kontakt'] :=     DBEdit3.Text;
 Table1.FieldValues['Größe/Spezifikation'] := DBEdit4.Text;
 Table1.FieldValues['Artikelnummer'] := DBEdit5.Text;
 Table1.FieldValues['Kontrollnummer'] := DBEdit6.Text;
 Table1.FieldValues['Besonderheiten'] := DBEdit7.Text;
 Table1.Post;
 setButtons(1)
end;  }

var
AnzahlBu: Integer;
Zaehler: Integer;
begin
   Zaehler:=0;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit1.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie eine Bezeichnung an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit2.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie den Hersteller an! ("-" für keinen)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit3.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie eine Kontaktmöglichkeit an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit4.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie die Größe/Spezifikation an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
```

```
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit5.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie die Artikelnummer an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit6.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie die Kontrollnummer an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
   AnzahlBu:=Length(DBEdit7.Text);
   If AnzahlBu=0 then
    begin
    Application.MessageBox('Geben Sie Besonderheiten an! ("-" für keine)','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
    end
   else
    begin
     Zaehler:=Zaehler+1;
    end;
 If Zaehler=7 then
  begin
   MessDbUnit1.Form1.SpeichernTabelle;
  end
 else
  begin
   Application.MessageBox('Das Protokoll kann nicht gespeichert werden!','Fehler:
unvollständige Datenangabe');
  end;
end;

procedure TForm2.BtnNewClick(Sender: TObject);
begin
 Table1.Append;
 setButtons(2)
end;

procedure TForm2.BtnCancelClick(Sender: TObject);
begin
 Table1.Cancel;
 Table1.Edit;
 setButtons(1)
end;

procedure TForm2.BtnDeleteClick(Sender: TObject);
begin
 if MessageDlg('Wollen Sie das Pulver wirklich löschen?',
    mtWarning,[mbYes, mbNo], 0) = mrYes then
    begin
     Table1.Delete;
     Table1.Edit;
    end
end;

procedure TForm2.BtnEndClick(Sender: TObject);
begin
 MessDbUnit1.Form1.Visible:=TRUE;
 Form2.Visible:=FALSE;
end;

end.
```

MessDbUnit3

Unit3 steuert im Programm die Archivierung Axio Vision (Abb. 4.22).

```
unit MessDbUnit3;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils,  Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, DBCtrls, DB, DBTables, Mask, ADODB, ExtCtrls,
  OleServer, Excel2000;

type
  TForm3 = class(TForm)
    Memo1: TMemo;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    BtnLoadAxio: TButton;
    BtnGetAxio: TButton;
    Memo2: TMemo;
    DataSource1: TDataSource;
    Table1: TTable;
    Table1Nummer: TAutoIncField;
    Table1Messungnummer: TStringField;
    Table1Bildname: TStringField;
    Table1ID: TStringField;
    Table1FlaechePixelxPixel: TStringField;
    Table1GrauwertFlaeche: TStringField;
    Table1UmfangPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktxPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktyPixel: TStringField;
    Table1RadiusPixel: TStringField;
    Table1DurchmesserPixel: TStringField;
    Table1EllipsegrHaPixel: TStringField;
    Table1EllipseklHaPixel: TStringField;
    Table1EllipseWinkelDegree: TStringField;
    Table1FaserlaengePixel: TStringField;
    Table1FeretMaxPixel: TStringField;
    Table1FeretMinPixel: TStringField;
    Table1FeretMaxWinkelDegree: TStringField;
    Table1FeretMinWinkelDegree: TStringField;
    Table1Formfaktor: TStringField;
    Table1GrauwertMittelGrey: TStringField;
    Table1GrauwertStdabwGrey: TStringField;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    BtnBackAxio: TButton;
    procedure BtnLoadAxioClick(Sender: TObject);
    procedure BtnGetAxioClick(Sender: TObject);
    procedure BtnBackAxioClick(Sender: TObject);
  private
    { Private-Deklarationen }
  public
    { Public-Deklarationen }
  end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

{$R *.dfm}

Uses MessDbUnit1;

procedure TForm3.BtnLoadAxioClick(Sender: TObject);
begin
 if OpenDialog1.Execute then
  begin;
   Memo1.Lines.LoadFromFile(OpenDialog1.FileName);
   BtnGetAxio.Enabled:=TRUE;
  end;
end;
```

```
procedure TForm3.BtnGetAxioClick(Sender: TObject);
var
 LinienAnzahl: Integer;
 Linie: String;
 LaengeString: Integer;
 PositionTeilString: Integer;
 TeilString: String;
 MySubString: String;
 Linienindex: Integer;
 Zeilenindex: Integer;
 TeilStringArray: Array of String;
 i: Integer;
 n: Integer;

begin

  SetLength(TeilStringArray,20);
  LinienAnzahl:=Memo1.Lines.Count;
  Memo2.Lines.Add('LinienAnzahl: '+IntToStr(LinienAnzahl));
 For Linienindex:=2 to Linienanzahl-1 do
 begin
  Linie:=Memo1.Lines[Linienindex];                                    //Zuordnen der Linie
  Memo2.Lines.Add(Linie);
  LaengeString:=Length(Linie);
  Memo2.Lines.Add(IntToStr(LaengeString));
  Zeilenindex:=1;
  n:=0;
  for i:=0 to 20-1 do TeilStringArray[i]:=' ';
  While Zeilenindex<=LaengeString do
   begin
    Linie:=TrimLeft(Linie);                                  //Leerzeichen links löschen
    MySubString:=';';
    PositionTeilString:= Pos(MySubString,Linie);
    TeilString:=Copy(Linie,1,PositionTeilString-1);         //(Quellstring,Pos ab der
kopiert werden soll,
                                                                    Anz d Stellen die kop
werden ab Pos)


    Delete(Linie,1,PositionTeilString);

    If PositionTeilString=0 then                             //letzte Spalte
    begin
    TeilString:=Linie;
    Memo2.Lines.Add('TeilString: '+TeilString);
    PositionTeilString:=Length(Linie);
    end;
    Zeilenindex:=Zeilenindex+PositionTeilString;
    TeilStringArray[n]:=TeilString;
    Memo2.Lines.Add('Zeilenindex: '+IntToStr(Zeilenindex));
    Memo2.Lines.Add('TeilString: '+TeilString);
    Memo2.Lines.Add('Neuer OriginalString: '+Linie);
    n:=n+1;
   end;

    Table1.Append;
    Table1Messungnummer.Value := IntToStr(MessDbUnit1.Form1.aktMessNr);      //Übernahme
der Messnummer

    for i:=0 to 19 do
     begin
      Case i of
       0: Table1Bildname.Value             := TeilStringArray[0];
       1: Table1ID.Value                   := TeilStringArray[1];
       2: Table1FlaechePixelxPixel.Value   := TeilStringArray[2];
       3: Table1GrauwertFlaeche.Value      := TeilStringArray[3];
       4: Table1UmfangPixel.Value          := TeilStringArray[4];
       5: Table1SchwerpunktxPixel.Value    := TeilStringArray[5];
       6: Table1SchwerpunktyPixel.Value    := TeilStringArray[6];
       7: Table1RadiusPixel.Value          := TeilStringArray[7];
       8: Table1DurchmesserPixel.Value     := TeilStringArray[8];
       9: Table1EllipsegrHaPixel.Value     := TeilStringArray[9];
      10: Table1EllipseklHaPixel.Value     := TeilStringArray[10];
      11: Table1EllipseWinkelDegree.Value  := TeilStringArray[11];
      12: Table1FaserlaengePixel.Value     := TeilStringArray[12];
      13: Table1FeretMaxPixel.Value        := TeilStringArray[13];
      14: Table1FeretMinPixel.Value        := TeilStringArray[14];
```

```
      15: Table1FeretMaxWinkelDegree.Value := TeilStringArray[15];
      16: Table1FeretMinWinkelDegree.Value := TeilStringArray[16];
      17: Table1Formfaktor.Value           := TeilStringArray[17];
      18: Table1GrauwertMittelGrey.Value   := TeilStringArray[18];
      19: Table1GrauwertStdabwGrey.Value   := TeilStringArray[19];
      end;
     end;
     Table1.Post;
 end;
 Label2.Caption := 'Fertig!';
end;

procedure TForm3.BtnBackAxioClick(Sender: TObject);
begin
 MessDbUnit1.Form1.Visible:=TRUE;
 Form3.Visible:=FALSE;
end;

end.
```

MessDbUnit4

Unit4 steuert im Programm die Archivierung Partikelanalyse I.

```
unit MessDbUnit4;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, DB, DBTables, StdCtrls;

type
  TForm4 = class(TForm)
    Memo1: TMemo;
    Label1: TLabel;
    BtnLoadDelphi: TButton;
    BtnGetDelphi: TButton;
    BtnBackDelphi: TButton;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Memo2: TMemo;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    Table1: TTable;
    DataSource1: TDataSource;
    Table1Nummer: TAutoIncField;
    Table1Messungnummer: TStringField;
    Table1ID: TStringField;
    Table1PartikelID: TStringField;
    Table1KantelinksPixel: TStringField;
    Table1KanterechtsPixel: TStringField;
    Table1KanteobenPixel: TStringField;
    Table1KanteuntenPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktxPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktyPixel: TStringField;
    Table1FlaechePixelxPixel: TStringField;
    Table1KreisdurchmesserPixel: TStringField;
    Table1Kreisformabweichung: TStringField;
    Table1EllipseWinkellage: TStringField;
    Table1EllipseklHaPixel: TStringField;
    Table1EllipsegrHaPixel: TStringField;
    Table1EllipseExzentrizitaet: TStringField;
    procedure BtnBackDelphiClick(Sender: TObject);
    procedure BtnLoadDelphiClick(Sender: TObject);
    procedure BtnGetDelphiClick(Sender: TObject);
  private
    { Private-Deklarationen }
  public
    { Public-Deklarationen }
  end;

var
  Form4: TForm4;

implementation

{$R *.dfm}

Uses MessDbUnit1;

procedure TForm4.BtnBackDelphiClick(Sender: TObject);
begin
 MessDbUnit1.Form1.Visible:=TRUE;
 Form4.Visible:=FALSE;
end;

procedure TForm4.BtnLoadDelphiClick(Sender: TObject);
begin
 if OpenDialog1.Execute then
  begin;
   Memo1.Lines.LoadFromFile(OpenDialog1.FileName);
   BtnGetDelphi.Enabled:=TRUE;
  end;
end;
```

```
procedure TForm4.BtnGetDelphiClick(Sender: TObject);
var
 LinienAnzahl: Integer;
 Linie: String;
 LaengeString: Integer;
 PositionTeilString: Integer;
 TeilString: String;
 MySubString: String;
 Linienindex: Integer;
 Zeilenindex: Integer;
 TeilStringArray: Array of String;
 i: Integer;
 n: Integer;

begin
  SetLength(TeilStringArray,15);
  LinienAnzahl:=Memo1.Lines.Count;
  Memo2.Lines.Add('LinienAnzahl: '+IntToStr(LinienAnzahl));
 For Linienindex:=1 to Linienanzahl-1 do
 begin
  Linie:=Memo1.Lines[Linienindex];                          //Zuordnen der Linie
  Memo2.Lines.Add(Linie);
  LaengeString:=Length(Linie);
  Memo2.Lines.Add(IntToStr(LaengeString));
  Zeilenindex:=1;
  n:=0;
  for i:=0 to 15-1 do TeilStringArray[i]:=' ';
  While Zeilenindex<=LaengeString do
   begin
    Linie:=TrimLeft(Linie);                                 //Leerzeichen links löschen
    MySubString:=';';
    PositionTeilString:= Pos(MySubString,Linie);
    TeilString:=Copy(Linie,1,PositionTeilString-1);
    Delete(Linie,1,PositionTeilString);

    If PositionTeilString=0 then                            //letzte Spalte
    begin
    TeilString:=Linie;
    Memo2.Lines.Add('TeilString: '+TeilString);
    PositionTeilString:=Length(Linie);
    end;
    Zeilenindex:=Zeilenindex+PositionTeilString;
    TeilStringArray[n]:=TeilString;
    Memo2.Lines.Add('Zeilenindex: '+IntToStr(Zeilenindex));
    Memo2.Lines.Add('TeilString: '+TeilString);
    Memo2.Lines.Add('Neuer OriginalString: '+Linie);
    n:=n+1;
   end;
    Table1.Append;
    Table1Messungnummer.Value := IntToStr(MessDbUnit1.Form1.aktMessNr);

    for i:=0 to 14 do
     begin
      Case i of
       0: Table1ID.Value                    := TeilStringArray[0];
       1: Table1PartikelID.Value            := TeilStringArray[1];
       2: Table1KantelinksPixel.Value       := TeilStringArray[2];
       3: Table1KanterechtsPixel.Value      := TeilStringArray[3];
       4: Table1KanteobenPixel.Value        := TeilStringArray[4];
       5: Table1KanteuntenPixel.Value       := TeilStringArray[5];
       6: Table1SchwerpunktxPixel.Value     := TeilStringArray[6];
       7: Table1SchwerpunktyPixel.Value     := TeilStringArray[7];
       8: Table1FlaechePixelxPixel.Value    := TeilStringArray[8];
       9: Table1KreisdurchmesserPixel.Value := TeilStringArray[9];
      10: Table1Kreisformabweichung.Value   := TeilStringArray[10];
      11: Table1EllipseWinkellage.Value     := TeilStringArray[11];
      12: Table1EllipseklHaPixel.Value      := TeilStringArray[12];
      13: Table1EllipsegrHaPixel.Value      := TeilStringArray[13];
      14: Table1EllipseExzentrizitaet.Value := TeilStringArray[14];
     end;
     end;
     Table1.Post;

 end;
 Label2.Caption := 'Fertig!';
end;
end.
```

MessDbUnit5

Unit5 steuert im Programm die Archivierung Partikelanalyse II.

```
unit MessDbUnit5;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, DB, DBTables;

type
  TForm5 = class(TForm)
    BtnLoadZimbo: TButton;
    BtnGetZimbo: TButton;
    BtnBackZimbo: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    DataSource1: TDataSource;
    Table1: TTable;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    Memo1: TMemo;
    Memo2: TMemo;
    Table1Nummer: TAutoIncField;
    Table1Messungnummer: TStringField;
    Table1Bildname: TStringField;
    Table1ID: TStringField;
    Table1FlaechePixelxPixel: TStringField;
    Table1UmfangPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktxPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktyPixel: TStringField;
    Table1RadiusPixel: TStringField;
    Table1DurchmesserPixel: TStringField;
    Table1EllipsegrHaPixel: TStringField;
    Table1EllipseklHaPixel: TStringField;
    Table1EllipseWinkeldeg: TStringField;
    Table1FeretMaxPixel: TStringField;
    Table1Formfaktor: TStringField;
    Table1GrauwertMittelGrey: TStringField;
    Table1Kreisformabweichung: TStringField;
    Table1EllipseExzentrizitaet: TStringField;
    Table1Komplexitaet: TStringField;
    Table1Objektnummer: TStringField;
    procedure BtnLoadZimboClick(Sender: TObject);
    procedure BtnGetZimboClick(Sender: TObject);
    procedure BtnBackZimboClick(Sender: TObject);
  private
    { Private-Deklarationen }
  public
    { Public-Deklarationen }
  end;

var
  Form5: TForm5;

implementation

{$R *.dfm}

Uses MessDbUnit1;

procedure TForm5.BtnBackZimboClick(Sender: TObject);
begin
 MessDbUnit1.Form1.Visible:=TRUE;
 Form5.Visible:=FALSE;
end;
```

```
procedure TForm5.BtnLoadZimboClick(Sender: TObject);
begin
 if OpenDialog1.Execute then
  begin;
   Memo1.Lines.LoadFromFile(OpenDialog1.FileName);
   BtnGetZimbo.Enabled:=TRUE;
  end;
end;

procedure TForm5.BtnGetZimboClick(Sender: TObject);
var
 LinienAnzahl: Integer;
 Linie: String;
 LaengeString: Integer;
 PositionTeilString: Integer;
 TeilString: String;
 MySubString: String;
 Linienindex: Integer;
 Zeilenindex: Integer;
 TeilStringArray: Array of String;
 i: Integer;
 n: Integer;

begin
  SetLength(TeilStringArray,18);
  LinienAnzahl:=Memo1.Lines.Count;
  Memo2.Lines.Add('LinienAnzahl: '+IntToStr(LinienAnzahl));
 For Linienindex:=0 to Linienanzahl-1 do
 begin
  Linie:=Memo1.Lines[Linienindex];                          //Zuordnen der Linie
  Memo2.Lines.Add(Linie);
  LaengeString:=Length(Linie);
  Memo2.Lines.Add(IntToStr(LaengeString));
  Zeilenindex:=1;
  n:=0;
  for i:=0 to 18-1 do TeilStringArray[i]:=' ';
  While Zeilenindex<=LaengeString do
   begin
    Linie:=TrimLeft(Linie);                                 //Leerzeichen links löschen
    MySubString:=';';
    PositionTeilString:= Pos(MySubString,Linie);
    TeilString:=Copy(Linie,1,PositionTeilString-1);         //(Quellstring,Pos ab der
kopiert werden soll,Anz d Stellen die kop werdem ab Pos)
    Delete(Linie,1,PositionTeilString);

    If PositionTeilString=0 then                            //letzte Spalte
    begin
    TeilString:=Linie;
    Memo2.Lines.Add('TeilString: '+TeilString);
    PositionTeilString:=Length(Linie);
    end;
    Zeilenindex:=Zeilenindex+PositionTeilString;
    TeilStringArray[n]:=TeilString;
    Memo2.Lines.Add('Zeilenindex: '+IntToStr(Zeilenindex));
    Memo2.Lines.Add('TeilString: '+TeilString);
    Memo2.Lines.Add('Neuer OriginalString: '+Linie);
    n:=n+1;
   end;

    Table1.Append;
    Table1Messungnummer.Value := IntToStr(MessDbUnit1.Form1.aktMessNr);

    for i:=0 to 17 do
     begin
      Case i of
       0: Table1Bildname.Value              := TeilStringArray[0];
       1: Table1ID.Value                    := TeilStringArray[1];
       2: Table1Objektnummer.Value          := TeilStringArray[2];
       3: Table1FlaechePixelxPixel.Value    := TeilStringArray[3];
       4: Table1UmfangPixel.Value           := TeilStringArray[4];
       5: Table1SchwerpunktxPixel.Value     := TeilStringArray[5];
       6: Table1SchwerpunktyPixel.Value     := TeilStringArray[6];
       7: Table1RadiusPixel.Value           := TeilStringArray[7];
       8: Table1DurchmesserPixel.Value      := TeilStringArray[8];
       9: Table1EllipsegrHaPixel.Value      := TeilStringArray[9];
      10: Table1EllipseklHaPixel.Value      := TeilStringArray[10];
      11: Table1EllipseWinkeldeg.Value      := TeilStringArray[11];
```

```
      12: Table1FeretMaxPixel.Value         := TeilStringArray[12];
      13: Table1Formfaktor.Value            := TeilStringArray[13];
      14: Table1GrauwertMittelGrey.Value    := TeilStringArray[14];
      15: Table1Kreisformabweichung.Value   := TeilStringArray[15];
      16: Table1EllipseExzentrizitaet.Value := TeilStringArray[16];
      17: Table1Komplexitaet.Value          := TeilStringArray[17];
      end;
     end;
     Table1.Post;

 end;
 Label2.Caption := 'Fertig!';
end;

end.
```

HistogrammUnit

HistogrammUnit steuert im Programm die Histogrammdarstellung (Abb.: 4.27 und 4.28).

```
unit HistogrammUnit;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, DB, DBTables, ComCtrls;

Const
 Bildhoehe=460;
 Bildbreite=1060;


type
 PBildDaten = ^TBildDaten;
 TBildDaten = Object
              Pixel: Array[0..Bildhoehe-1,0..Bildbreite-1] of Byte
              end;

type
  THistogrammForm = class(TForm)
    AusRadioGroup: TRadioGroup;
    Table1: TTable;
    DataSource1: TDataSource;
    Table1Nummer: TAutoIncField;
    Table1Messungnummer: TStringField;
    Table1Bildname: TStringField;
    Table1ID: TStringField;
    Table1Objektnummer: TStringField;
    Table1FlaechePixelxPixel: TStringField;
    Table1UmfangPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktxPixel: TStringField;
    Table1SchwerpunktyPixel: TStringField;
    Table1RadiusPixel: TStringField;
    Table1DurchmesserPixel: TStringField;
    Table1EllipsegrHaPixel: TStringField;
    Table1EllipseklHaPixel: TStringField;
    Table1EllipseWinkeldeg: TStringField;
    Table1FeretMaxPixel: TStringField;
    Table1Formfaktor: TStringField;
    Table1GrauwertMittelGrey: TStringField;
    Table1Kreisformabweichung: TStringField;
    Table1EllipseExzentrizitaet: TStringField;
    Table1Komplexitaet: TStringField;
    Memo1: TMemo;
    FlaechenImage: TImage;
    KlassenanzahlEdit: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    RuecksetzenButton: TButton;
    DurchmesserImage: TImage;
    ElliGrHAImage: TImage;
    ElliKlHAImage: TImage;
    ElliWinkelImage: TImage;
    KreisabwImage: TImage;
    procedure AusRadioGroupClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
    procedure RuecksetzenButtonClick(Sender: TObject);
private
    { Private-Deklarationen }
  public
    { Public-Deklarationen }
    BildDaten: PBildDaten;
    Bitmap: TBitmap;
    Procedure Histogrammrechnung;
    Procedure Durchmesserhistogramm;
    Procedure EllipseGrHAHistogramm;
```

```
    Procedure EllipseKlHAHistogramm;
    Procedure EllipseWinkellageHistogramm;
    Procedure KreisformabweichungHistogramm;
  end;

var
  HistogrammForm: THistogrammForm;

implementation

{$R *.dfm}

Uses MessDbUnit1, MessDbUnit2, MessDbUnit3, MessDbUnit4, MessDbUnit5;

{--}
Procedure THistogrammForm.Histogrammrechnung;
 var
  i: Integer;
  j: Integer;
  n: Integer;
  FlaechenArray: Array of Integer;
  DurchmesserArray: Array of Double;
  ElliGrHAArray: Array of Double;
  ElliKlHAArray: Array of Double;
  ElliWinkelArray: Array of Double;
  KreisformabwArray: Array of Double;

  H: Array of Integer;
  Klassenbreite: Double;
  Klassenanzahl: Integer;
  Min: Double;
  Max: Double;
  Durchschnitt: Integer;

  StartNr : Integer;
  EndNr: Integer;
  Eintraege: Integer;
  hilfe: Integer;

  HMax: Integer;
  xStrich: Integer;
  yStrich: Integer;
  P: PByteArray;

 begin
  Memo1.Clear;
  Klassenanzahl:=StrToInt(KlassenanzahlEdit.Text);

  MessDbUnit5.Form5.Table1.First;
  while MessDbUnit5.Form5.Table1Messungnummer.Value <> '31' do           //Anzahl der
Einträge ermitteln
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Next;
   end;
  StartNr:=Table1Nummer.Value;
  while (MessDbUnit5.Form5.Table1Messungnummer.Value = '31')  do
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Next;
   end;
  EndNr:=MessDbUnit5.Form5.Table1Nummer.Value;
  Eintraege:=EndNr-StartNr;

  Memo1.Lines.Add('Anzahl der Einträge:');
  Memo1.Lines.Add(IntToStr(Eintraege));

 {Flaechenhistogramm}

  SetLength(FlaechenArray,Eintraege);
  SetLength(DurchmesserArray,Eintraege);
  SetLength(ElliGrHAArray,Eintraege);
  SetLength(ElliKlHAArray,Eintraege);
  SetLength(ElliWinkelArray,Eintraege);
  SetLength(KreisformabwArray,Eintraege);
```

```
  n:=0;
  For i:=StartNr to EndNr-1 do
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Prior;
    FlaechenArray[n]:=StrToInt(MessDbUnit5.Form5.Table1FlaechePixelxPixel.Value);
    DurchmesserArray[n]:= StrToFloat(MessDbUnit5.Form5.Table1DurchmesserPixel.Value);
    ElliGrHAArray[n]:= StrToFloat(MessDbUnit5.Form5.Table1EllipsegrHaPixel.Value);
    ElliKlHAArray[n]:= StrToFloat(MessDbUnit5.Form5.Table1EllipseklHaPixel.Value);
    ElliWinkelArray[n]:= StrToFloat(MessDbUnit5.Form5.Table1EllipseWinkeldeg.Value);
    KreisformabwArray[n]:= StrToFloat(MessDbUnit5.Form5.Table1Kreisformabweichung.Value);

    n:=n+1;
   end;

  Setlength(H,Klassenanzahl);
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    H[i]:=0;
   end;
  Max:=FlaechenArray[0];                                    //Ermitteln von Max,Min
  Min:=FlaechenArray[0];
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    if Flaechenarray[i]>Max then Max:=Flaechenarray[i];
    if Flaechenarray[i]<Min then Min:=Flaechenarray[i];
   end;

  Memo1.Lines.Add('Maximum: '+FloatToStr(Max));
  Memo1.Lines.Add('Minimum: '+FloatToStr(Min));

  Klassenbreite:=(Max-Min)/Klassenanzahl;                   //Klasseneinteilung der Werte
  Memo1.Lines.Add('Klassenbreite: '+FloatToStr(Klassenbreite));
  hilfe:=0;
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    hilfe:= Flaechenarray[i] div Round(Klassenbreite);
    H[hilfe]:=H[hilfe]+1;
   end;

   FlaechenImage.Canvas.MoveTo(1050,410);                   //Zeichnen
   FlaechenImage.Canvas.LineTo(50,410);
   FlaechenImage.Canvas.LineTo(50,10);

  HMax:=H[0];
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    if H[i]>HMax then HMax:=H[i];
   end;

   xStrich:=Round(1000/Klassenanzahl);       //gibt an, nach wievielen Pixel im Image die
nächste Klasse kommt
   yStrich:=Round(400/HMax);

  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    FlaechenImage.Canvas.Pen.Width:=10;
    FlaechenImage.Canvas.Pen.Color:=clBlue;
    FlaechenImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50+Round(xStrich/2),(FlaechenImage.Height-
55)),

Point(100*i+50+Round(xStrich/2),Round((FlaechenImage.Height-55)*(1-H[i]/HMax))+20)]);
    FlaechenImage.Canvas.TextOut(100*i+60+Round(xStrich/2),Round((FlaechenImage.Height-
55)*(1-H[i]/HMax))+10,IntToStr(H[i]));
    FlaechenImage.Canvas.TextOut(100*i+40,(FlaechenImage.Height-
30),IntToStr(Round(Min+i*Klassenbreite)));
    FlaechenImage.Canvas.Pen.Width:=1;
    FlaechenImage.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
    FlaechenImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50,(FlaechenImage.Height-51)),
                                   Point(100*i+50,(FlaechenImage.Height-59))]);
   end;
```

```
{Durchmesserhistogramm}

  n:=0;
  For i:=StartNr to EndNr-1 do
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Prior;
    n:=n+1;
   end;

  Setlength(H,Klassenanzahl);
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    H[i]:=0;
   end;
  Max:=DurchmesserArray[0];                                    //Ermitteln von Max,Min
  Min:=DurchmesserArray[0];
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    if DurchmesserArray[i]>Max then Max:=DurchmesserArray[i];
    if DurchmesserArray[i]<Min then Min:=DurchmesserArray[i];
   end;

  Memo1.Lines.Add('Maximum: '+FloatToStr(Max));
  Memo1.Lines.Add('Minimum: '+FloatToStr(Min));

  Klassenbreite:=(Max-Min)/Klassenanzahl;                          //Klasseneinteilung
der Werte
  Memo1.Lines.Add('Klassenbreite: '+FloatToStr(Klassenbreite));

  hilfe:=0;
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    hilfe:= Round(DurchmesserArray[i]) div Round(Klassenbreite);
    H[hilfe]:=H[hilfe]+1;
   end;

   DurchmesserImage.Canvas.MoveTo(1050,410);                   //Zeichnen
   DurchmesserImage.Canvas.LineTo(50,410);
   DurchmesserImage.Canvas.LineTo(50,10);

  HMax:=H[0];
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    if H[i]>HMax then HMax:=H[i];
   end;

   xStrich:=Round(1000/Klassenanzahl);       //gibt an, nach wievielen Pixel im Image die
nächste Klasse kommt
   yStrich:=Round(400/HMax);                 //"-"

  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    DurchmesserImage.Canvas.Pen.Width:=10;
    DurchmesserImage.Canvas.Pen.Color:=clBlue;

DurchmesserImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50+Round(xStrich/2),(DurchmesserImage.Height-
55)),

Point(100*i+50+Round(xStrich/2),Round((DurchmesserImage.Height-55)*(1-H[i]/HMax))+20)]);

DurchmesserImage.Canvas.TextOut(100*i+60+Round(xStrich/2),Round((DurchmesserImage.Height-
55)*(1-H[i]/HMax))+10,IntToStr(H[i]));
    DurchmesserImage.Canvas.TextOut(100*i+40,(DurchmesserImage.Height-
30),IntToStr(Round(Min+i*Klassenbreite)));
    DurchmesserImage.Canvas.Pen.Width:=1;
    DurchmesserImage.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
    DurchmesserImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50,(DurchmesserImage.Height-51)),
                                      Point(100*i+50,(DurchmesserImage.Height-59))]);
   end;
```

```
{Ellipse große HA Histogramm}


  n:=0;
  For i:=StartNr to EndNr-1 do
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Prior;
    n:=n+1;
   end;

  Setlength(H,Klassenanzahl);
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    H[i]:=0;
   end;
  Max:=ElliGrHAArray[0];                                    //Ermitteln von Max,Min
  Min:=ElliGrHAArray[0];
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    if ElliGrHAArray[i]>Max then Max:=ElliGrHAArray[i];
    if ElliGrHAArray[i]<Min then Min:=ElliGrHAArray[i];
   end;

  Memo1.Lines.Add('Maximum: '+FloatToStr(Max));
  Memo1.Lines.Add('Minimum: '+FloatToStr(Min));

  Klassenbreite:=(Max-Min)/Klassenanzahl;                          //Klasseneinteilung
der Werte
  Memo1.Lines.Add('Klassenbreite: '+FloatToStr(Klassenbreite));

  hilfe:=0;
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    hilfe:= Round(ElliGrHAArray[i]) div Round(Klassenbreite);
    H[hilfe]:=H[hilfe]+1;
   end;

   ElliGrHAImage.Canvas.MoveTo(1050,410);                      //Zeichnen
   ElliGrHAImage.Canvas.LineTo(50,410);
   ElliGrHAImage.Canvas.LineTo(50,10);

  HMax:=H[0];
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    if H[i]>HMax then HMax:=H[i];
   end;

   xStrich:=Round(1000/Klassenanzahl);       //gibt an, nach wievielen Pixel im Image die
nächste Klasse kommt
   yStrich:=Round(400/HMax);

  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    ElliGrHAImage.Canvas.Pen.Width:=10;
    ElliGrHAImage.Canvas.Pen.Color:=clBlue;
    ElliGrHAImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50+Round(xStrich/2),(ElliGrHAImage.Height-
55)),

Point(100*i+50+Round(xStrich/2),Round((ElliGrHAImage.Height-55)*(1-H[i]/HMax))+20)]);
    ElliGrHAImage.Canvas.TextOut(100*i+60+Round(xStrich/2),Round((ElliGrHAImage.Height-
55)*(1-H[i]/HMax))+10,IntToStr(H[i]));
    ElliGrHAImage.Canvas.TextOut(100*i+40,(ElliGrHAImage.Height-
30),IntToStr(Round(Min+i*Klassenbreite)));
    ElliGrHAImage.Canvas.Pen.Width:=1;
    ElliGrHAImage.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
    ElliGrHAImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50,(ElliGrHAImage.Height-51)),
                                   Point(100*i+50,(ElliGrHAImage.Height-59))]);
   end;
```

```
{Ellipse kleine HA Histogramm}

  n:=0;
  For i:=StartNr to EndNr-1 do
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Prior;
    n:=n+1;
   end;

  Setlength(H,Klassenanzahl);
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    H[i]:=0;
   end;
  Max:=ElliKlHAArray[0];                                    //Ermitteln von Max,Min
  Min:=ElliKlHAArray[0];
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    if ElliKlHAArray[i]>Max then Max:=ElliKlHAArray[i];
    if ElliKlHAArray[i]<Min then Min:=ElliKlHAArray[i];
   end;

  Memo1.Lines.Add('Maximum: '+FloatToStr(Max));
  Memo1.Lines.Add('Minimum: '+FloatToStr(Min));

  Klassenbreite:=(Max-Min)/Klassenanzahl;                          //Klasseneinteilung
der Werte
  Memo1.Lines.Add('Klassenbreite: '+FloatToStr(Klassenbreite));

  hilfe:=0;
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    hilfe:= Round(ElliKlHAArray[i]) div Round(Klassenbreite);
    H[hilfe]:=H[hilfe]+1;
   end;

   ElliKlHAImage.Canvas.MoveTo(1050,410);                   //Zeichnen
   ElliKlHAImage.Canvas.LineTo(50,410);
   ElliKlHAImage.Canvas.LineTo(50,10);

  HMax:=H[0];
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    if H[i]>HMax then HMax:=H[i];
   end;

   xStrich:=Round(1000/Klassenanzahl);       //gibt an, nach wievielen Pixel im Image die
nächste Klasse kommt
   yStrich:=Round(400/HMax);                 //"-"

  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    ElliKlHAImage.Canvas.Pen.Width:=10;
    ElliKlHAImage.Canvas.Pen.Color:=clBlue;
    ElliKlHAImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50+Round(xStrich/2),(ElliKlHAImage.Height-
55)),

Point(100*i+50+Round(xStrich/2),Round((ElliKlHAImage.Height-55)*(1-H[i]/HMax))+20)]);
    ElliKlHAImage.Canvas.TextOut(100*i+60+Round(xStrich/2),Round((ElliKlHAImage.Height-
55)*(1-H[i]/HMax))+10,IntToStr(H[i]));
    ElliKlHAImage.Canvas.TextOut(100*i+40,(ElliKlHAImage.Height-
30),IntToStr(Round(Min+i*Klassenbreite)));
    ElliKlHAImage.Canvas.Pen.Width:=1;
    ElliKlHAImage.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
    ElliKlHAImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50,(ElliKlHAImage.Height-51)),
                                   Point(100*i+50,(ElliKlHAImage.Height-59))]);
   end;
```

```
{Ellipse Winkellage Histogramm}

  n:=0;
  For i:=StartNr to EndNr-1 do
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Prior;
    n:=n+1;
   end;

  Setlength(H,Klassenanzahl);
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    H[i]:=0;
   end;
  Max:=ElliWinkelArray[0];                                    //Ermitteln von Max,Min
  Min:=ElliWinkelArray[0];
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    if ElliWinkelArray[i]>Max then Max:=ElliWinkelArray[i];
    if ElliWinkelArray[i]<Min then Min:=ElliWinkelArray[i];
   end;

  Memo1.Lines.Add('Maximum: '+FloatToStr(Max));
  Memo1.Lines.Add('Minimum: '+FloatToStr(Min));

  Klassenbreite:=(Max-Min)/Klassenanzahl;                          //Klasseneinteilung
der Werte
  Memo1.Lines.Add('Klassenbreite: '+FloatToStr(Klassenbreite));

  hilfe:=0;
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    hilfe:= Round(ElliWinkelArray[i]) div Round(Klassenbreite);
    H[hilfe]:=H[hilfe]+1;
   end;

   ElliWinkelImage.Canvas.MoveTo(1050,410);                    //Zeichnen
   ElliWinkelImage.Canvas.LineTo(50,410);
   ElliWinkelImage.Canvas.LineTo(50,10);

  HMax:=H[0];
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    if H[i]>HMax then HMax:=H[i];
   end;

   xStrich:=Round(1000/Klassenanzahl);       //gibt an, nach wievielen Pixel im Image die
nächste Klasse kommt
   yStrich:=Round(400/HMax);                 //"-"

  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    ElliWinkelImage.Canvas.Pen.Width:=10;
    ElliWinkelImage.Canvas.Pen.Color:=clBlue;

ElliWinkelImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50+Round(xStrich/2),(ElliWinkelImage.Height-
55)),

Point(100*i+50+Round(xStrich/2),Round((ElliWinkelImage.Height-55)*(1-H[i]/HMax))+20)]);
    ElliWinkelImage.Canvas.TextOut(100*i+60+Round(xStrich/2),Round((ElliWinkelImage.Height-
55)*(1-H[i]/HMax))+10,IntToStr(H[i]));
    ElliWinkelImage.Canvas.TextOut(100*i+40,(ElliWinkelImage.Height-
30),IntToStr(Round(Min+i*Klassenbreite)));
    ElliWinkelImage.Canvas.Pen.Width:=1;
    ElliWinkelImage.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
    ElliWinkelImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50,(ElliWinkelImage.Height-51)),
                                     Point(100*i+50,(ElliWinkelImage.Height-59))]);
   end;
```

```
{KreisformabweichungHistogramm}

  n:=0;
  For i:=StartNr to EndNr-1 do
   begin
    MessDbUnit5.Form5.Table1.Prior;
    n:=n+1;
   end;

  Setlength(H,Klassenanzahl);
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    H[i]:=0;
   end;
  Max:=KreisformabwArray[0];                                    //Ermitteln von Max,Min
  Min:=KreisformabwArray[0];
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    if KreisformabwArray[i]>Max then Max:=KreisformabwArray[i];
    if KreisformabwArray[i]<Min then Min:=KreisformabwArray[i];
   end;

  Memo1.Lines.Add('Maximum: '+FloatToStr(Max));
  Memo1.Lines.Add('Minimum: '+FloatToStr(Min));

  Klassenbreite:=(Max-Min)/Klassenanzahl;                          //Klasseneinteilung
der Werte
  Memo1.Lines.Add('Klassenbreite: '+FloatToStr(Klassenbreite));

  hilfe:=0;
  for i:=0 to Eintraege-1 do
   begin
    hilfe:= Round(KreisformabwArray[i]) div Round(Klassenbreite);
    H[hilfe]:=H[hilfe]+1;
   end;

   KreisabwImage.Canvas.MoveTo(1050,410);                    //Zeichnen
   KreisabwImage.Canvas.LineTo(50,410);
   KreisabwImage.Canvas.LineTo(50,10);

  HMax:=H[0];
  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    if H[i]>HMax then HMax:=H[i];
   end;

   xStrich:=Round(1000/Klassenanzahl);       //gibt an, nach wievielen Pixel im Image die
nächste Klasse kommt
   yStrich:=Round(400/HMax);                 //"-"

  for i:=0 to Klassenanzahl-1 do
   begin
    KreisabwImage.Canvas.Pen.Width:=10;
    KreisabwImage.Canvas.Pen.Color:=clBlue;
    KreisabwImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50+Round(xStrich/2),(KreisabwImage.Height-
55)),

Point(100*i+50+Round(xStrich/2),Round((KreisabwImage.Height-55)*(1-H[i]/HMax))+20)]);
    KreisabwImage.Canvas.TextOut(100*i+60+Round(xStrich/2),Round((KreisabwImage.Height-
55)*(1-H[i]/HMax))+10,IntToStr(H[i]));
    KreisabwImage.Canvas.TextOut(100*i+40,(KreisabwImage.Height-
30),IntToStr(Round(Min+i*Klassenbreite)));
    KreisabwImage.Canvas.Pen.Width:=1;
    KreisabwImage.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
    KreisabwImage.Canvas.Polyline([Point(100*i+50,(KreisabwImage.Height-51)),
                                   Point(100*i+50,(KreisabwImage.Height-59))]);
   end;
 end;

{--}
procedure THistogrammForm.AusRadioGroupClick(Sender: TObject);
var
 Max: Double;
 Min: Double;
 Klassenbreite: Double;
```

```
begin
 Case AusRadioGroup.ItemIndex of
 0: begin
    Label1.Caption:='Partikelverteilung: Flaeche (Pixel x Pixel)';
    FlaechenImage.Show;
    end;
 1: begin
    Label1.Caption:='Partikelverteilung: Durchmesser (Pixel)';
    DurchmesserImage.Show;
    end;
 2: begin
    Label1.Caption:='Partikelverteilung: Ellipse große HA (Pixel)';
    ElliGrHAImage.Show;
    end;
 3: begin
    Label1.Caption:='Partikelverteilung: Ellipse kleine HA (Pixel)';
    ElliKlHAImage.Show;
    end;
 4: begin
    Label1.Caption:='Partikelverteilung: Ellipse Winkellage (Degree)';
    ElliWinkelImage.Show;
    end;
 5: begin
    Label1.Caption:='Partikelverteilung: Kreisformabweichung';
    KreisabwImage.Show;
    end;
 end;
  Memo1.Lines.Add('Maximum: '+FloatToStr(Max));
  Memo1.Lines.Add('Minimum: '+FloatToStr(Min));
  Memo1.Lines.Add('Klassenbreite: '+FloatToStr(Klassenbreite));
end;

procedure THistogrammForm.FormCreate(Sender: TObject);
begin
 New(BildDaten);
 Bitmap:=TBitmap.Create;
 with Bitmap do
  begin
   Height:=Bildhoehe;
   Width:=Bildbreite;
   PixelFormat:=pf24bit;
  end;
 Histogrammrechnung;
end;

procedure THistogrammForm.FormClose(Sender: TObject;
  var Action: TCloseAction);
begin
 Dispose(BildDaten);
 Bitmap.Free;
end;

procedure THistogrammForm.RuecksetzenButtonClick(Sender: TObject);
var
 i, j: Integer;
 P: PByteArray;
begin

  Label1.Caption:=' ';
  AusRadioGroup.ItemIndex:=-1;
  for i:=0 to Bitmap.Height-1 do
   begin
    P:=Bitmap.ScanLine[i];
    for j:=0 to Bitmap.Width-1 do
     begin
     P^[3*j]:=255;
     P^[3*j+1]:=255;
     P^[3*j+2]:=255;
     end;
   end;
  FlaechenImage.Picture.Bitmap.Assign(Bitmap);
end;

end.
```

Hinweis zum Entwicklungsstatus des Archivierungsassistenten:

Die Darstellung von Parametern als Histogramm ist bisher nur statisch möglich. Das heißt, dass im Quellcode die Messnummer der gewünschten Messreihe eingetragen werden muss.
Bei der weiteren Entwicklung des Programms muss diese Funktion nachträglich dynamisiert werden.

7.3. Struktur der Ausgabedateien der Analyseprogramme

7.3.1. Ausgabedatei Axio Vision

Trennzeichen: Semikolon [;]

Reihenfolge der Parameter:

Position	Parameter
1	Bildname
2	ID (Partikel)
3	Fläche
4	Grauwert Fläche
5	Umfang
6	Schwerpunkt x
7	Schwerpunkt y
8	Kreisradius
9	Kreisdurchmesser
10	Ellipse große Halbachse
11	Ellipse kleine Halbachse
12	Ellipse Winkel
13	Faserlänge
14	Feret Max
15	Feret Min
16	Feret Max Winkel
17	Feret Min Winkel
18	Formfaktor
19	Grauwert Mittelwert
20	Grauwert Standartabweichung

Tab 7.1: Parameterreihenfolge Axio Vision

Vorsicht: Um die Ausgabedatei von AxioVision mit dem Archivierungsassistenten bearbeiten zu können, müssen zunächst alle Punkte der Datei zu Kommas umgewandelt werden (Microsoft Excel trennt Dezimalstellen mit Komma). Hierfür steht das Hilfsprogramm „Punkt zu Komma“, welches sich auf der CD zur Diplomarbeit“ befindet, zur Verfügung.

7.3.2. Ausgabedatei Partikelanalyse I

Trennzeichen: Semikolon [;]

Reihenfolge der Parameter:

Position	Parameter
1	Bildnummer
2	ID (Partikel)
3	Kante links
4	Kante rechts
5	Kante oben
6	Kante unten
7	Flächenschwerpunkt x
8	Flächenschwerpunkt y
9	Fläche
10	Kreisdurchmesser
11	Kreisformabweichung
12	Ellipse Winkellage
13	Ellipse kleine Halbachse
14	Ellipse große Halbachse
15	Ellipse Exzentrizität

Tab 7.2: Parameterreihenfolge Partikelanalyse I

7.3.3. Ausgabedatei Partikelanalyse II:

Trennzeichen: Semikolon [;]

Reihenfolge der Parameter:

Position	Parameter
1	Bildname
2	Bildnummer
3	ID (Partikel)
4	Fläche
5	Umfang
6	Flächenschwerpunkt y
7	Flächenschwerpunkt x
8	Kreisradius
9	Kreisdurchmesser
10	Ellipse Halbachse a
11	Ellipse Halbachse b
12	Rotationswinkel
13	Durchmesser
14	Rundheit
15	Grauwert Mittelwert
16	Kreisformabweichung
17	Ellipsenabweichung
18	Ellipse Exzentrizität
19	Komplexität

Tab 7.3: Parameterreihenfolge Partikelanalyse II

7.4. Datenblätter der Spritzpulver

7.4.1. Datenblatt der Al_2O_3 – Pulver

H.C.Starck

POWDERS FOR THERMAL SPRAYING

Number PD-5007
Issue 2-15.09.2005

AMPERIT® 740

Chemical Formula	Al_2O_3
Chemical Name	Aluminium Oxide
Description of Product	Fused
Grades Available	**Product Designation**
	AMPERIT® 740.0 22/5 µm
	AMPERIT® 740.1 45/22 µm
	AMPERIT® 740.3 45/5 µm
	AMPERIT® 740.8 20/5 µm

Chemical Characteristics
(Mass fraction in % [cg/g]; ppm [µg/g])

SiO_2	max. 0.02 %
Fe_2O_3	max. 0.05 %
Na_2O	max. 0.3 %
Al_2O_3	balance

Physical Characteristics

Particle Size Distribution[1)]

	740.0	740.1	740.3	740.8
- 88 µm		100 %	100 %	
- 62 µm	100 %	min. 95 %	min. 95 %	
- 44 µm				100 %
- 31 µm	min. 90 %			min. 95 %
- 15 µm		max. 5 %		
- 5.5 µm	max. 5 %		max. 10 %	max. 10 %

1) MICROTRAC by Laser Light Diffraction per ASTM C 1070.

1/2

H.C.Starck

Number	PD-5007
Issue	2-15.09.2005

Packaging
Standard Packaging:
5 kg in 2.5 l PE bottle, 6 bottles in one carton (300x400x300 mm)
1 carton = 30 kg, 10 cartons on one CP 1 pallet (1000x1200 mm)
one packaging unit of 300 kg (height including pallet = approx. 450 mm).

Hazards identification in Advertising (Directive 67/548/EEC Article 26 and Directive 1999/45/EC Article 13)
none.

Documentation
An inspection document in accordance with EN 10204 is supplied with every shipment.

Partner
H.C. Starck GmbH, Sales Department,
P.O. Box 2540, D-38615 Goslar
Phone +49/5321-751-3961 / Fax +49/5321-751-4961.

Remarks
Always mix well before using.

The conditions of your use and application of our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether they are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis at least must include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by H.C. Starck. All information is given without warranty or guarantee. It is expressly understood and agreed that the customer assumes and hereby expressly releases H.C. Starck from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind H.C. Starck. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent. Properties of the products referred to herein shall as general rule not be classed as information on the properties of the item for sale. In case of order please refer to issue number of the respective product data sheet. All deliveries are based on the latest issue of the product data sheet and the latest version of our General Conditions of Sale and Delivery.

H.C. Starck GmbH, P.O. Box 25 40, 38615 Goslar / Germany
T +49 5321 751-0, F +49 5321 751-6192

H.C. Starck GmbH, P.O. Box 13 46, 79721 Laufenburg / Germany
T +49 7763 82-0, F +49 7763 82-195

H.C. Starck GmbH, c/o Bayer AG, Building B 202, 51368 Leverkusen / Germany
T+ 49 214 30-1, F +49 214 30-56284

H.C. Starck Ltd., UK Liaison Office, Aizlewood's Mill, Nursery Street,
Sheffield S3 8GG / UK, T +44/114/2823156, F +44/114/2823244

Bayer S.A.S., H.C. Starck Liaison Office France, 49-51, Quai de Dion Bouton,
92815 Puteaux Cedex / France, T +33/1/49 06 58 13, F +33/1/49 06 58 16

Bayer B.V., H.C. Starck Liaison Office Benelux, Postbus 80,
3640 AB Mijdrecht / Netherlands, T +31/2 97/28 04 25, F +31/2 97/28 06 41

Bayer AB, H.C. Starck Liaison Office Scandinavia, P.O. Box 52 37,
40224 Göteborg / Sweden, T +46/31/83 98 00, F +46/31/83 25 75

Bayer S.p.A., H.C. Starck Liaison Office Italy, Viale Certosa, 130,
20156 Milan / Italy, T +39-023978-2219, F +39-023978-4958

H.C. Starck Inc., 45 Industrial Place, Newton, MA. 02461-1951 / USA,
T +1 (617) 630-5800, F +1 (617) 630-5879

Bayer Inc., H.C. Starck Canada, P.O. Box 30 98, 933 Vidal Street South, Sarnia,
Ontario / Canada N7T 8H8, T +1/519/346-4300, F +1/519/346-4310

Bayer (South East Asia) Pte. Ltd., H.C. Starck Liaison Office South East Asia,
No. 9 Benoi Sector, Singapore 629844, T +65/62 61-33 89, F +65/62 61-96 09

H.C. Starck Ltd., 1-6-5 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8266 / Japan,
T +81-3-6266-7060, F +81-3-6266-9743

H.C. Starck Co. Ltd., 5, I-3A Road, Map Ta Phut, Industrial Estate
Rayong 21150 / Thailand, T +66/38/683-077, F +66/38/683-043

Bayer MaterialScience Ltd., Division H.C. Starck, 77/F., The Center, 99, Queen's
Road Central, Hongkong, T +852-2894 7126, F +852-3526 4511

Bayer (China) Ltd., Division H.C. Starck, 550, Yan An East Road, 26/F., Ocean
Tower, 200001 Shanghai / PR CHINA, T +86-21-6361 8282 ext. 368 / 369,
F +86/21/6360 6517

A Bayer MaterialScience Company

7.4.2. Datenblatt des ZrO_2 – Y_2O_3 - Pulver

H.C.Starck

POWDERS FOR THERMAL SPRAYING

Number PD-4045
Issue 2-15.09.2005

AMPERIT® 827

Chemical Formula	ZrO_2-Y_2O_3 93-7
Chemical Name	Zirconium Oxide-Yttrium Oxide 93-7
Description of Product	Agglomerated, Sintered

Grades Available

Product Designation	
AMPERIT® 827.7	90/16 µm
AMPERIT® 827.054	45/10 µm
AMPERIT® 827.6	125/45 µm

Chemical Characteristics
(Mass fraction in % [cg/g]; ppm [µg/g])

Y_2O_3	7 - 9 %
HfO_2	max. 2.0 %
SiO_2	max. 0.5 %
TiO_2	max. 0.4 %
Al_2O_3	max. 0.2 %
Fe_2O_3	max. 0.3 %
ZrO_2	balance

Physical Characteristics[1)]

	827.7	**827.054**	**827.6**
- 176 µm	100 %		min. 100 %
- 88 µm		100 %	
D 90 %	85 - 99 µm	53 - 63 µm	107 - 125 µm
D 50 %	47 - 57 µm	31 - 39 µm	68 - 77 µm
D 10 %	21 - 30 µm	17 - 21 µm	39 - 49 µm
Apparent Density acc. ASTM B 212	2.2 - 2.5 g/cm³	2.2 - 2.6 g/cm³	2.2 - 2.4 g/cm³

1) MICROTRAC by Laser Light Diffraction per ASTM C 1070.

1/2

H.C.Starck

Number	PD-4045
Issue	2-15.09.2005

Packaging	Standard Packaging for 5 kg/10 lbs 2.5 l PE-bottle.
Storage and Handling	Storage and handling are subject to the rules and regulations in the country of use.
Hazards identification in Advertising (Directive 67/548/EEC Article 26 and Directive 1999/45/EC Article 13)	none.
Documentation	An inspection document in accordance with EN 10204 is supplied with every shipment.
Partner	H.C. Starck GmbH, Sales Department, P.O. Box 2540, D-38615 Goslar Phone +49/5321-751-3961 / Fax +49/5321-751-4961.
Remarks	Always mix well before using.

The conditions of your use and application of our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether they are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis at least must include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by H.C. Starck. All information is given without warranty or guarantee. It is expressly understood and agreed that the customer assumes and hereby expressly releases H.C. Starck from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind H.C. Starck. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent. Properties of the products referred to herein shall as general rule not be classed as information on the properties of the item for sale. In case of order please refer to issue number of the respective product data sheet. All deliveries are based on the latest issue of the product data sheet and the latest version of our General Conditions of Sale and Delivery.

H.C. Starck GmbH, P.O. Box 25 40, 38615 Goslar / Germany
T +49 5321 751-0, F +49 5321 751-6192

H.C. Starck GmbH, P.O. Box 13 46, 79721 Laufenburg / Germany
T +49 7763 82-0, F +49 7763 82-195

H.C. Starck GmbH, c/o Bayer AG, Building B 202, 51368 Leverkusen / Germany
T+ 49 214 30-1, F +49 214 30-56284

H.C. Starck Ltd., UK Liaison Office, Aizlewood's Mill, Nursery Street,
Sheffield S3 8GG / UK, T +44/114/2823156, F +44/114/2823244

Bayer S.A.S., H.C. Starck Liaison Office France, 49-51, Quai de Dion Bouton,
92815 Puteaux Cedex / France, T +33/1/49 06 58 13, F +33/1/49 06 58 16

Bayer B.V., H.C. Starck Liaison Office Benelux, Postbus 80,
3640 AB Mijdrecht / Netherlands, T +31/2 97/28 04 25, F +31/2 97/28 06 41

Bayer AB, H.C. Starck Liaison Office Scandinavia, P.O. Box 52 37,
40224 Göteborg / Sweden, T +46/31/83 98 00, F +46/31/83 25 75

Bayer S.p.A., H.C. Starck Liaison Office Italy, Viale Certosa, 130,
20156 Milan / Italy, T +39-023978-2219, F +39-023978-4958

H.C. Starck Inc., 45 Industrial Place, Newton, MA. 02461-1951 / USA,
T +1 (617) 630-5800, F +1 (617) 630-5879

Bayer Inc., H.C. Starck Canada, P.O. Box 30 98, 933 Vidal Street South, Sarnia,
Ontario / Canada N7T 8H8, T +1/519/346-4300, F +1/519/346-4310

Bayer (South East Asia) Pte. Ltd., H.C. Starck Liaison Office South East Asia,
No. 9 Benoi Sector, Singapore 629844, T +65/62 61-33 89, F +65/62 61-96 09

H.C. Starck Ltd., 1-6-5 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8266 / Japan,
T +81-3-6266-7060, F +81-3-6266-9743

H.C. Starck Co. Ltd., 5, I-3A Road, Map Ta Phut, Industrial Estate
Rayong 21150 / Thailand, T +66/38/683-077, F +66/38/683-043

Bayer MaterialScience Ltd., Division H.C. Starck, 77/F., The Center, 99, Queen's
Road Central, Hongkong, T +852-2894 7126, F +852-3526 4511

Bayer (China) Ltd., Division H.C. Starck, 550, Yan An East Road, 26/F., Ocean
Tower, 200001 Shanghai / PR CHINA, T +86-21-6361 8282 ext. 368 / 369,
F +86/21/6360 6517

A Bayer MaterialScience Company

7.5. Datenblätter, Bedienungsanleitungen und Support der Analysegeräte und AxioVision

7.5.1. Diascanner CanoScan FS4000US

Technische Daten:

Scanner-Typ		Desktop-Scanner mit beweglichem Film-Schlitten
Scan-Element		CCD 3-Zeilen Farbbild-Sensor
Lichtquelle		Kalt-Kathoden Quecksilber-Leuchtstofflampe
Scan-Auflösung		4000 x 4000 dpi
Scan-Modus		Farbe / Graustufen / Schwarzweiß
Scan Bit-Tiefe		Eingabe: 14 Bit pro RGB-Kanal Ausgabe: 8 oder 14 Bit pro RGB-Kanal
Scan-Geschwindigkeit*	Positiv-Film	8/12/16 msec/Linie
	Negativ-Film	8/12/16/24 msec/Linie
Effektiver Scan-Bereich	35-mm	24,0 x 36,0 mm
	IX240	15,6 x 27,4 mm
Unterstützte Filmformate		35-mm Filmstreifen 35-mm/IX240 Dias IX240 Filmpatronen
Fokus		Auto/Manuell
Schnittstellen		USB 1.1/SCSI II
Schnittstellen Anschlüsse		USB-Anschluss x 1/SCSI High Density 50Pol (aka HPDB50) x 2
Stromzufuhr		AC 100-240 V, 50/60 MHz (autom. Umschaltung)
Energieverbrauch		Bereitschaft 12 W Maximal 35 W
Maximale Außenmaße (B x L x H)		92 x 368 x 144 mm
Gewicht		Ca. 2,4 kg

* Übertragungszeit auf den Computer nicht enthalten.
Technische Daten können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

(entnommen aus Handbuch zum FS400US der Firma Zeiss)

Weiteres Material auf der CD:

Benutzerhandbuch für CanoScan FS4000US und FilmGet FS

Support:

Canon Deutschland GmbH
Postfach 10 04 01
47704 Krefeld

Tel.: 0 21 51 / 34 95 66
Fax.: 0 21 51 / 34 95 99

www.canon.de

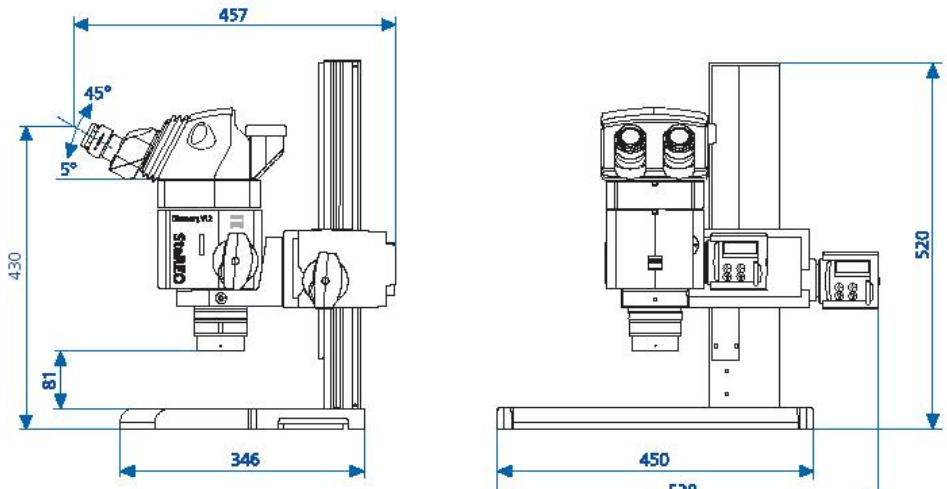
7.5.2. Stereomikroskop Zeiss Discovery.V12 und AxioCam MRc5

Technische Daten Discovery.V12:

Das Mikroskop des EIT 2 verfügt über das Objektiv PlanApo S 1,5x und das Okular WPL 10x/23 Br..

Objektive		**Okulare**					
Bezeichnung	FAA*	**WPL 10x/23 Br. foc**		**PL 16x/16 Br. foc**		**W 25x/10 foc**	
Faktor	(mm)	Vergrößerung	Objektfeld (mm)	Vergrößerung	Objektfeld (mm)	Vergrößerung	Objektfeld (mm)
PlanApo S							
0,63x	**81**	**5x ... 63x**	**46 ... 3,7**	**8x ... 100,8x**	**32 ... 2,5**	**12,5x ...157,5x**	**20 ... 1,6**
Plan S							
1,0x	**81**	**8x ... 100x**	**28,8 ... 2,3**	**12,8x ... 160x**	**20 ... 1,6**	**20x ... 250x**	**12,5 ... 1**
PlanApo S							
1,5x	**30**	**12x ... 150x**	**19,2 ... 1,5**	**19,2x ... 240x**	**13,3 ... 1,1**	**30x ... 375x**	**8,3 ... 0,7**

* *Freier Arbeitsabstand*



Masse 27,5 kg

(entnommen aus Broschüre zum Discovery V12 der Firma Zeiss)

Technische Daten AxioCam MRc5:

• **Number of pixels:**	2584 (H) x 1936 (V) = 5 Megapixels
• **Digitization:**	12 bit / 12 Mhz pixel clock
• **Dynamic range:**	Typical 1:1300
• **Integration time:**	1 ms to 60 s
• **Cooling:**	Single stage Peltier cooling
• **Interface:**	FireWire / IEEE 1394, 6-pin jack, speed 400 Mbit

Live Image Frame Rate:

Mode	H	x	V	Max. Frame Rate
Slow	1296	x	968	3 frames/s
Medium	430	x	322	11 frames/s
Fast	258	x	193	16 frames/s

Note: Max. image frame rate depends on exposure time and the hard- and software of the PC

Selectable Resolution in Quality Mode (Interlaced):
(Recommended for highest image quality)

H	x	V	Binning
516	x	387	5 x 5
646	x	484	4 x 4
861	x	645	3 x 3
1292	x	968	2 x 2
2584	x	1936	1 x 1

(All modes in color)

Selectable Resolution in Fast Mode (Progressive):
(Recommended for moving objects)

H	x	V	Binning	Color
258	x	193	10 x 10	Color
323	x	242	8 x 8	Mono
430	x	322	6 x 6	Color
646	x	484	4 x 4	Mono
1292	x	968	2 x 2	Color
1292	x	968	2 x 2	Mono
2584	x	1936	1 x 1 interpolated	Color

Read-out of sensor sub-regions: Random definition of regions of interest (ROI) on the sensor

Pixel size:	3,4 µm x 3,4 µm
Sensor size:	8,7 mm x 6,6 mm equivalent to 2/3" CCD
Sensor:	ICX 282, Interline Transfer
Spectral range:	Approx. 400 nm to 710 nm with infrared barrier filter BG40
Read-out modes:	Progressive / Interlaced
Control signals:	TTL-output for controlling external electrical shutters
Optical interface:	C-mount
Thread depth for objectives:	Max. of 5 mm (C-mount)
Max. file size per image:	Approx. 30 MB at 2584 x 1936 with 3 x 12 bit
Operating systems:	Microsoft® Windows 2000 Professional (from SP4) Microsoft® Windows XP Professional (from SP2)
Size / weight:	Approx. 11 cm x 8 cm x 4,5 cm (2,3" x 3,2" x 1,7") / 370 g
Housing:	Blue anodized aluminum, with cooling fins, 1/4" connection for tripod mount
Registration :	CE, cUL
Power supply:	12 V DC, 250 mA, supply via FireWire / IEEE 1394 interface and data cable from the PC (no external power supply necessary if used in combination with PC). When working with a notebook an active FireWire / IEEE 1394 hub may be required
Ambient condition (operation):	+5° to +35° Celsius; max. of 80% relative air humidity, not condensing, free air circulation required
Multi-camera option:	Switching between and operating up to 4 cameras on a single PC using the AxioVision software for camera control

Minimum requirements for PC

Intel® Pentium® 4 processor, 1,3 GHz, 512 MB RAM, 40 GB hard disk
Intel® chipsets i845, i850, i865
Graphics adapter 1280 x 1024 resolution, 32 bit real color, 64 MB RAM
FireWire / IEEE 1394 interface (OHCI compatibel)

Minimum requirements for notebook

Intel® Mobile Pentium® 4 processor, 1,0 GHz, 512 MB RAM, 40 GB hard disk
Intel® chipset i845MP
Graphics adapter 1280 x 1024 resolution, 32 bit real color
FireWire / IEEE 1394 interface (OHCI compatibel)
Additional power supply may be required

(entnommen aus Broschüre zur AxioCam MRc5 der Firma Zeiss)

Weiteres Material auf der CD:

Verkaufsbroschüre Discovery V12 und AxioCam MRc5

Weiteres Material im EIT 2:

Bedienungsanleitung zu Discovery V12 und Kaltlichtquelle
Datenblatt Discovery V12

Support:

allgemeine Kundenbetreuung

Carl Zeiss
Lichtmikroskopie

Postfach 4041
37030 Göttingen

Tel.: 0551 / 5060 660
Fax.: 0551 / 5060 464

E-Mail: mikro@zeiss.de

www.zeiss.de/stereo-discovery
www.zeiss.de/axiocam

Kundenbetreuung München

Carl Zeiss
Vertriebsbüro Mikroskopie

Hotline: 0180 / 333 6 333

Dirk Kunze

Zeppelinstraße 4
85399 Hallbergmoos

Tel.: 08 11 9 59 72 63
Fax.: 08 11 9 59 71 80

E-Mail: d.kunze@zeiss.de

7.5.3. Rasterelektronenmikroskop JEOL JSM-6700F

Das Rasterelektronenmikroskop ist Eigentum des EIT 9. Es wurde uns für die Arbeiten im Rahmen der Diplomarbeit mit technischer Unterstützung zur Verfügung gestellt. Support-Daten sind daher nicht nötig.

Produktinformationen:

www.jeol.com

7.5.4. Auswertungssoftware Zeiss AxioVision

Weiteres Material auf der CD:

Bedienungsanleitung AxioVision
Verkaufsbroschüre AxioVision
Umfangreiches Datenblatt zu AxioVision und möglichen Modulen

Support:

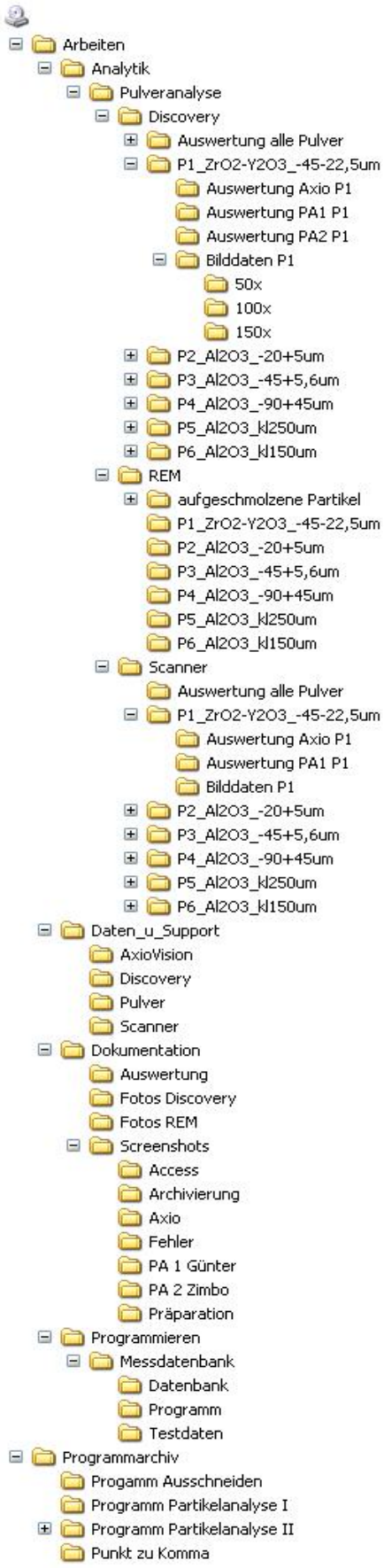
Carl Zeiss
Lichtmikroskopie

Postfach 4041 Tel.: 0551 / 5060 660
37030 Göttingen Fax.: 0551 / 5060 464

E-Mail: mikro@zeiss.de

www.zeiss.de/axiovision

7.6. Inhaltsverzeichnis der CD zur Diplomarbeit



7.7. Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Zimmermann S., Landes K. : Moderne lasergestützte Partikeldiagnostikverfahren beim thermischen Spritzen, Universität der Bundeswehr, München, 2004

[2] Bronštein, I.N., Semendjaev, K.A. : Taschenbuch der Mathematik, 5. Auflage, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt/M., 2001

[3] Wappler, P., Zimmermann, S. : Programmierung und Analyse von Gradientenfiltern zur Binärschwellenbestimmung bei PSI-Bildern, Studienarbeit, Universität der Bundeswehr, München, Juli 2005

[4] Wagner, J., Zimmermann, S. : Inbetriebnahmen eines Diascannersystems zur Partikelanalyse, sowie deren Auswertung mit einem kommerziellen Bildbearbeitungsprogramm und einer in Delphi programmierten Messdatenanalyse, Studienarbeit, Universität der Bundeswehr, München, November 2004

[5] Micklich, S., Weber, M., Zimmermann, S. : Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr, München, 2006

[6] Axio Vision Handbuch, Release 4.4, B 48-0038 d 04.2005, Carl Zeiss Vision

[7] Bedienungsanleitung SteREO Discovery.V12 Stereomikroskop, B 46-0009 d, Herausgabedatum 24.03.2005, Carl Zeiss AG

[8] Doberenz, W., Kowalski, T. : Datenbankprogrammierung mit Borland Delphi 6, Carl Hanser Verlag, München Wien, 2002

[9] Tiemeyer, E., Konopasek, K : Access 2000, Markt&Technik Buch- und Software- Verlag, München, 1999

Internet:

[10] www.hcstarck.de : Informationen und Vertrieb der Spritzpulver

[11] www.zeiss.de : Informationen zu Stereomikroskop, AxioCam, Axio Vision

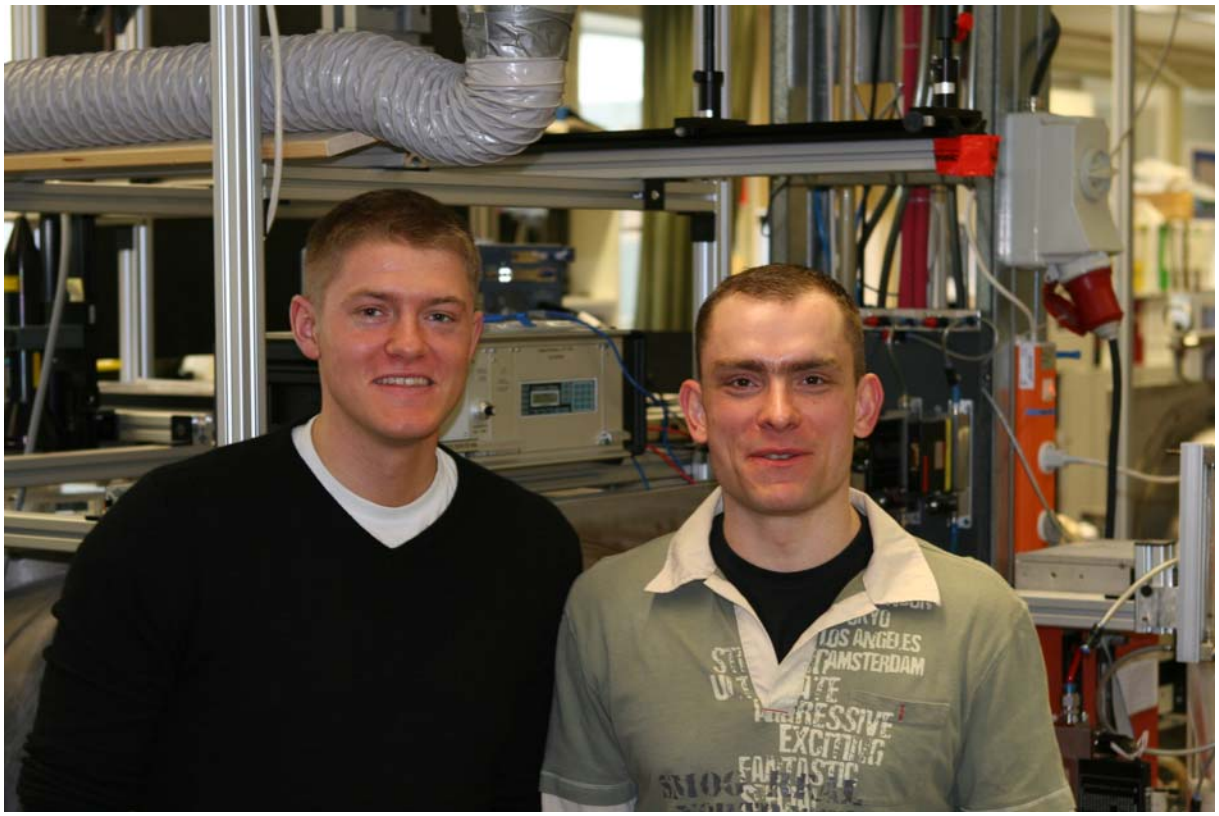
[12] www.canon.de : Informationen zum Diascanner

[13] www.jeol.com : Informationen zum Rasterelektronenmikroskop

[14] www.dsdt.info : Hilfe, Tipps, Tutorials, ... zur Delphi Programmierung

[15] www.wikipedia.de : Internet – Enzyklopädie : allgemeine Informationen zu Rasterelektronen- und Stereomikroskopie

7.8. Das Team



Patrick „Petrisch“ Wappler Dipl.-Ing. Stephan „Zimbo“ Zimmermann

Das Dream-Team der Partikelanalyse im März 2006